

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Turistická rozhledna z materiálů na bázi dřeva

View – tower made of wooden – based materials

Student:

Bc. Michal Woska

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Voska**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb
Téma: **Turistická rozhledna z materiálů na bázi dřeva.**
View – tower made of wooden – based materials.
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte:

1. Historický vývoj a typy rozhleden.
2. Tři varianty řešení turistické rozhledny z materiálů na bázi dřeva.
3. Dispoziční a architektonické řešení zvolené varianty rozhledny (část projektové dokumentace pro stavební řízení, tj. technická zpráva, výkresy ve vhodném měřítku – situace, pohledy, půdorysy, řez, vybrané detaily).
4. Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce.
5. Návrh a posouzení vybraných spojů nosných prvků.
6. Kotvení a možný způsob založení konstrukce rozhledny.
7. Návrh a posouzení konstrukční a chemické ochrany konstrukce vůči působení povětrnostních vlivů a biotických škůdců.
8. Posouzení požární odolnosti vybraných hlavních nosných prvků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) ČSN EN 1995-1-2: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- 3) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály. Vydal Koželouh, B. – KODR Zlín, 1998.
- 4) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů. Vydal Informační centrum ČKAIT, 2004.
- 5) Natterer, J. O. et al., Holzbau Atlas, Birkhauser – Verlag für Architektur, 2003, Basel, Schweiz, ISBN 3-7643-6984-1
- 6) Příručka 1 a 2, <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz>, 2008.
- 7) Dřevostavby a dřevěné konstrukce I. a II. díl, CERM Akademické nakladatelství Brno, 2010.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.**

Datum zadání: 27.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě24. 11. 2015.....

.....Michal Křesla.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 24. 11. 2015

..... Michal Křesla

podpis studenta

Poděkování

Poděkování patří doc. Ing. Antonínu Lokajovi, Ph.D. za konzultace, užitečné rady, pomoc při řešení problémů a odborné vedení této diplomové práce.

Anotace

Diplomová práce se zabývá turistickými rozhlednami z materiálů na bázi dřeva. Práce obsahuje rešerši a přehled stávajících turistických rozhleden. Hlavní náplní diplomové práce je návrh dispozičního řešení tří různých turistických rozhleden a dále návrh a posouzení jednotlivých prvků, vybraných spojů, kotvení a základů. Práce také obsahuje posouzení na povětrnostní vlivy, chemickou odolnost a požární odolnost. Všechny navržené prvky a spoje vyhoví na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Posudek byl proveden dle norem ČSN EN.

Klíčová slova

Turistická rozhledna, dispozice, návrh konstrukce, posouzení konstrukce, rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo, prvky, spoje, únosnost, požární odolnost

Annotation

The dissertation deals with tourist view-tower made of wooden-based materials. This dissertation contains recherche and review of existing tourist view-towers. The primary concern of this work is to design the layout of three different view-towers and design and state estimation of individual components, chosen connections, anchoring and footing. The dissertation also contains state estimation of atmospheric, chemical and fire endurance. All the components and connections comply with both ultimate states. The review was performed according to norms ČSN EN.

Keywords

Tourist view-tower, layout, design of construction, state estimation, solid timber, glued laminated timber, components, joints, bearing resistance, fire endurance

Obsah

Úvod.....	13
1 Historický vývoj a typy rozhleden.....	14
1.1 Historický vývoj rozhleden.....	14
1.2 Typy rozhleden.....	16
2 Návrh dispozičního a konstrukčního řešení.....	18
2.1 Varianta 1.....	18
2.2 Varianta 2.....	20
2.3 Varianta 3.....	23
3 Materiálové charakteristiky.....	27
3.1 Rostlé dřevo C30.....	27
3.1 Lepené lamelové dřevo GL32h.....	28
4 Stanovení zatížení.....	29
4.1 Stálé zatížení.....	29
4.2 Užité zatížení.....	30
4.2.1 Užité zatížení střechy.....	30
4.2.2 Užité zatížení plošin a zábradlí.....	30
4.3 Zatížení sněhem.....	31
4.4 Zatížení větrem.....	31
4.4.1 Výpočet spojitého zatížení na střechu.....	34
4.4.2 Výpočet zatížení na nosné prvky konstrukce.....	35
5 Návrh a posouzení prvků rozhledny.....	38
5.1 Vnější trámy (250x250, C30).....	38
5.2 Vnitřní sloup (osmiúhelník – R300, GL24h).....	42
5.3 Hlavní nosníky podlaží (150x300, GL32h).....	44
5.4 Příčníky podlaží (120x200, GL32h).....	46
5.5 Sloupky střechy.....	48
5.5.1 Vnitřní sloupky (200x200, C30).....	49
5.5.2 Vnější sloupky - vrcholové (220x220, C30).....	50
5.6 Obvodové nosníky (250x250, C30).....	51
5.7 Krokve.....	54
5.7.1 Nárožní kroky (100x220, GL24h).....	54
5.7.2 Vedlejší kroky (80x200, GL 24h).....	58
5.8 Maximální deformace stavby.....	60
6 Návrh a posudek spojů.....	61
6.1 Spoj centrálního sloupu a hlavních nosníků v úrovni podlaží.....	62
6.1.1 Centrální sloup.....	63

6.1.2	Hlavní nosníky podlaží	64
6.2	<i>Spoje trámů vnějšího pláště</i>	65
6.2.1	Vodorovné nosníky	66
6.2.2	Spoje trámů vnějšího pláště	67
6.2.3	Alternativa spoje	69
6.3	<i>Spoj příčníků na hlavní a obvodové nosníky</i>	70
6.3.1	Příčník	70
6.3.2	Hlavní nosník podlaží	71
6.4	<i>Vrcholový spoj střechy</i>	73
	<i>Obr. 52: Vrcholový spoj střechy (půdorys, pohled se dvěma krokvemi)</i>	73
6.4.1	Objímka centrálního sloupu	74
6.4.2	Nárožní krokve	75
6.5	<i>Obvodová patka</i>	76
6.5.1	Spoj trámu a ocelové desky	76
6.5.2	Únosnost čepu	77
6.5.3	Posouzení patky	78
6.6	<i>Centrální patka</i>	81
6.6.1	Spoj sloupu a ocelových desek	81
6.6.2	Posouzení patky	82
7	Konstrukční a chemická ochrana dřeva	84
7.1	<i>Povětrnostní vlivy a Biotičtí škůdci</i>	84
7.2	<i>Ochrana dřeva</i>	84
8	Požární odolnost	86
8.1	<i>Metoda redukováného průřezu</i>	86
8.1.1	Obvodový trám – 250x250	86
8.1.2	Hlavní nosník podlaží – 150x300	88
	Závěr	89
	Seznam použité literatury	90

Seznam použitých zkratk a symbolů

Písmena velké latinské abecedy

A	plocha průřezu [mm^2]
A_{ef}	účinná plocha průřezu [mm^2]
A_{osl}	oslabená plocha průřezu [mm^2]
C_e	součinitel expozice
C_t	tepelný součinitel
$E_{0,05}$	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti [MPa]
$F_{\text{ax,Rk}}$	charakteristická únosnost osově namáhaného spojovacího [kN]
$F_{\text{v,Rk}}$	charakteristická únosnost příčně namáhaného spojovacího prostředku [kN]
$F_{\text{v,Rk}}$	návrhová únosnost příčně namáhaného spojovacího prostředku [kN]
I_v	součinitel turbulence větru
I_y	moment setrvačnosti k ose y [mm^4]
L_{cr}	vzpěrná délka pro vybočení prvku [mm]
M_{Ed}	návrhová hodnota ohybového momentu [kNm]
M_{MAX}	maximální hodnota ohybového momentu [kNm]
$M_{\text{y,Rk}}$	plastický moment únosnosti [Nmm]
N_{Ed}	návrhová hodnota normálové síly [kN]
N_{MAX}	maximální hodnota normálové síly [kN]
R_{MAX}	výslednice příčných sil působící na spojovací prostředek [kN]
V_{Ed}	návrhová hodnota posouvající síly [kN]
V_{MAX}	maximální hodnota posouvající síly [kN]
W_y	průřezový modul k ose y [mm^3]
$W_{\text{y,osl}}$	průřezový modul k ose y oslabeného průřezu [mm^3]

Písmena malé latinské abecedy

a	tloušťka svaru [mm]
a_1	rozteč rovnoběžně s vlákny mezi spojovacími prostředky [mm]
a_2	rozteč kolmo k vláknům mezi spojovacími prostředky [mm]
a_3	vzdálenost spojovacího prostředku od konce [mm]
a_3	vzdálenost spojovacího prostředku od okraje [mm]
b	šířka prvku [mm]
c_{dir}	součinitel směru větru
c_{season}	součinitel ročního období
d	průměr spojovacího prostředku [mm]
e	excentricita [mm]
f_k	charakteristická hodnota pevnostní vlastnosti [MPa]
f_d	návrhová hodnota pevnostní vlastnosti [MPa]
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost v ohybu [MPa]
$f_{m,d}$	návrhová pevnost v ohybu [MPa]
$f_{h,2,k}$	pevnost v otláčení [MPa]
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům [MPa]
$f_{c,90,d}$	návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům [MPa]
$f_{j,d}$	návrhová pevnost betonu [MPa]
$f_{v,k}$	charakteristická pevnost ve smyku [MPa]
$f_{v,d}$	návrhová pevnost ve smyku [MPa]
f_y	mez kluzu [MPa]
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení [kN/m]
h	výška prvku [mm]

i_y	poloměr setrvačnosti k ose y [mm]
k_{cr}	redukční součinitel
k_{90}	součinitel zohledňující uspořádání napětí, štěpení, deformace
k_{def}	součinitel dotvarování
k_{mod}	modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti
$k_{c,y}$	součinitel vzpěrnosti
k_y	součinitel vzpěrnosti
q_k	charakteristická hodnota užitého zatížení [kN/m]
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem [kN/m]
t	tloušťka prvku [mm]
$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost větru [m/s]
w_{inst}	okamžitý průhyb [mm]
w_{fin}	finální průhyb [mm]
w_k	charakteristická hodnota zatížení větrem [kN/m]
z_0	parametr drsnosti terénu
z_{min}	minimální výška [m]

Písmena řecké abecedy

α	sklon střechy [°]
β_c	součinitel přímosti
β	poměr mezi pevnostmi v otláčení prvků
γ	hmotnost na metr čtvereční [kg/m ²]
γ_M	dílčí součinitel vlastnosti materiálu
λ_y	štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem osy y
$\lambda_{rel,y}$	poměrný štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem osy y
μ_i	tvarový součinitel zatížení sněhem
ρ_k	charakteristická hustota [kg/m ³]
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napětí v tlaku rovnoběžné s vlákny [MPa]

$\sigma_{c,90,d}$ návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům [MPa]

$\sigma_{cr,y}$ kritické napětí v ohybu [MPa]

$\sigma_{m,y,d}$ návrhové napětí v ohybu k ose y [MPa]

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu rovnoběžné s vlákny [MPa]

τ_d návrhové napětí ve smyku [MPa]

$\psi_{0,i}$ součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení

Úvod

Dřevo se používá pro stavební účely již několik tisíciletí a přesto je stále nepostradatelným materiálem pro stavebnictví. Dřevo je snadno dostupné, lehce obnovitelné, má dobré statické vlastnosti, dobře se opracovává, je zdravotně nezávadné a jako materiál je člověku nejpříjemnější. Pro venkovní stavby je dřevo nejpřirozenější a nejvíce používané, protože nejlépe zapadá do okolní krajiny a nenarušuje ji.

Cílem diplomové práce je navrhnout tři varianty dispozičního řešení turistické rozhledny a posoudit vybranou rozhlednu. Součástí práce je zpracování historie a rozdělení existujících turistických rozhleden. Tyto rozhledny sloužily jako inspirace pro vytvoření tří dispozičních řešení rozhleden. První varianta je rozhledna čtvercového půdorysu. Druhá rozhledna má v půdoryse tvar šestiúhelníku. A třetí rozhledna má základní tvar osmiúhelník, který je v jednotlivých podlažích pootočen. Výška rozhleden byla zvolena přibližně 25 metrů. Pro výpočet byla zvolena třetí varianta.

Použitým materiálem je rostlé dřevo a lepené lamelové dřevo. Pro navrženou konstrukci rozhledny budou dále provedeny návrhy a posouzení jednotlivých prvků, spojů, základů a kotvení. Jednotlivé prvky budou navrženy, aby vyhovovaly meznímu stavu únosnosti a meznímu stavu použitelnosti. Tvar, design, výpočet vnitřních sil, deformací a obalových křivek bude proveden ve studentské verzi programu Scia Engineer 15.1.

Pro rozhlednu bude také navrhována konstrukční a chemická ochrana dřeva proti povětrnostním vlivům a biotickým škůdcům. Prvky budou také posouzeny na požární odolnost pomocí metody redukovaného průřezu.

1 Historický vývoj a typy rozhleden

V současné době existuje mnoho rozhleden různých typů. Rozhledna je vyhlídková stavba, která se vyvyšuje nad terénem. Její vyhlídková plošina je alespoň 4 metry nad zemí. Rozhledny jsou postaveny z různých materiálů a mnoho z nich patří mezi historické památky. Rozhledny patří k typům staveb, u kterých mohou inženýři a architekti uplatnit svou představivost či moderní trendy.

1.1 Historický vývoj rozhleden

Historie rozhleden sahá částečně až do starověku, kde byly rozhledny používány Římany, aby měli přehled a viděli přicházející vojska. V následujících letech se rozhledny používaly hlavně pro obranné účely. Turistické vyhlídkové rozhledny se začaly objevovat až v 18. století. V české republice byly v 18. století používány jako strážní a signalizační věže. Dále jako ozdoby šlechtických parků a lázeňských měst. Až koncem století se získaly rozhledny turistický charakter (obr. 1). Rozhledny byly stavěny ze dřeva, protože je financovaly turistické spolky. Okolo roku 1890 mají spolky více peněz a staví honosnější rozhledny, tentokrát mimo dřevěné hlavně kamenné [12]. Degradace a ztráta návštěvnosti nastala po druhé světové válce a mnoho rozhleden zchátralo. Nové rozhledny a rekonstrukce začaly až po sametové revoluci (obr. 2).



obr. 1: První česká turistická rozhledna – Josefská věž na Kletí [10]



obr. 2: Rekonstrukce Biskupské kupy v Jeseníkách [10]

1.2 Typy rozhleden

Dělení rozhleden lze rozdělit do několika částí. Zprv se rozhledny dělí podle typu použitého materiálu. Rozhledny kamenné a zděné se používaly v minulosti. Dnes se staví rozhledny ocelové, dřevěné nebo kombinované. Dále skleněné, neboť moderní architektura často vyžaduje velké prosklené plochy (obr. 3).



Obr. 3: Dubbed Brighton's Eiffel tower

Druhé rozdělení je podle tvaru stavby. Mohou být rozhledny s kruhovým půdorysem, s pravidelným či nepravidelným čtyřúhelníkem. Moderní jsou mnohoúhelníky či elipsy. Rozhledny mohou mít s rostoucí výškou konstantní průřez, ale častěji se do výšky zeštíhlují vlivem velkého působení větru. Na vrcholu bývá vyhlídková plošina, která mívá často větší plochu než konstrukce pod ní. Existují i rozhledny, které se skládají z více spojených věží. Častým prvkem u moderních rozhleden je tvar spirály, šroubovice či hyperboloidu (obr. 4).



Obr. 4: Rozhledny netradičních tvarů [10]

Dalším dělení je dle využití rozhledny. Nejznámější jsou turistické rozhledny. Rozhledny využívané pro astronomické účely. Vojenské rozhledny s radary. Důležité jsou rozhledny s televizními a radiovými vysílači. Rozhledny, které jsou součástí hradů, zámků či kostelů. V přímořských státech jsou to majáky. Často se používá vyhlídková plošina jako místo pro restauraci (obr. 5). Využití rozhleden je v dnešní době široké.



Obr. 5: Rozhledna s restaurací [10]

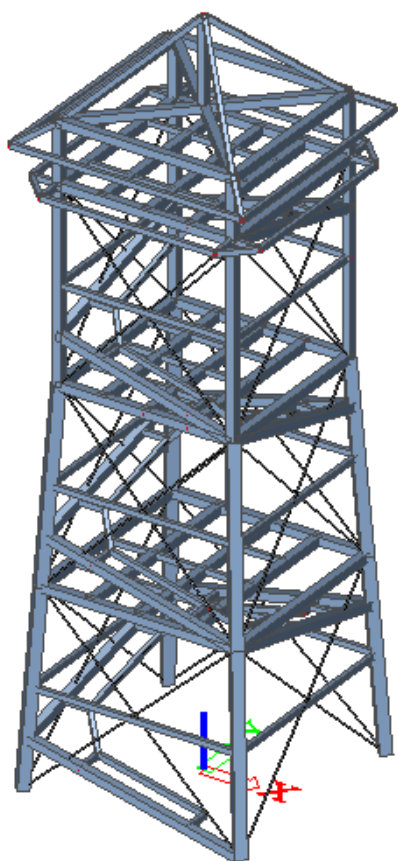
2 Návrh dispozičního a konstrukčního řešení

2.1 Varianta 1

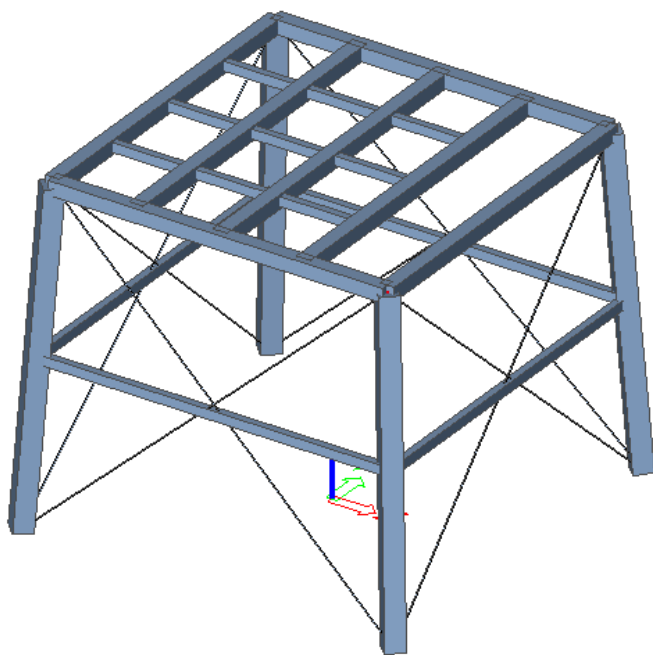
Rozhledna se skládá ze tří plošin čtvercového půdorysu (obr. 6). Vrchní plošina je ve výšce 21 metrů a výškový rozdíl mezi každou plošinou je 7 metrů. Spodní plošina má délku strany 7,2 metrů a zbývající plošiny mají délku 6,4 metru. Plošiny rozdělují rozhlednu na tři trakty (obr. 7). První dva trakty mají tvar komolého jehlanu – krajní sloupy se sbíhají do středu. Třetí trakt má sloupy, které jsou kolmé na plošinu. Na plošiny se lze dostat pomocí schodiště, které je vedeno po vnitřním obvodu konstrukce.

Střecha je uložena na čtyřech hlavních nárožních krokvicích uložených na rohových sloupech a sbíhajících se ve vrcholu (obr. 8). Výška sloupů je ve vrcholové plošině 2,2 metru. Střecha má sklon 40° a je věžového typu. Její převýšení je 3,2 metru. Součástí střechy je i centrální sloup, který je uložen na úhlopříčně křížujících se nosnících uložených na rohových sloupech. Jednotlivé dílčí krokve, na které působí vnější zatížení, jsou uloženy na hlavních nárožních krokvicích. Samotná střecha je tvořena stoprocentním bedněním uloženým na krokvicích. Na bednění je vrstva vyrovnávací fólie, na kterou se položí pevně připevněný měděný plech. Ve vrcholu bude umístěná vrcholová měděná čepka.

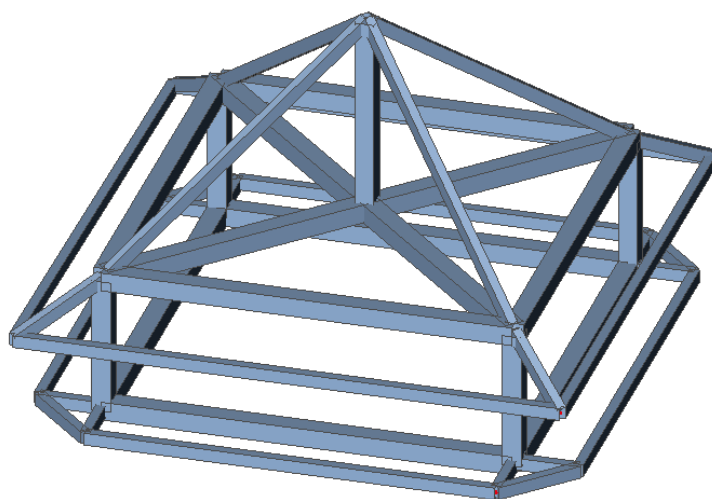
Hlavní nosnou konstrukci rozhledny tvoří rohové sloupy, které jsou v prvních dvou traktech odkloněny od kolmého směru. Podlahy jednotlivých podlaží jsou uloženy na roštu, který se skládá z mohutnějších podélníků a menších příčníků. Ve vrcholové plošině jsou nosníky obvodu roštu s převislými konci. Všechny spoje konstrukce jsou kloubové a typu dřevo-ocel. Patky jsou také kloubové a dovolují konstrukci sedání. Prostorová tuhost je zajištěna jednotlivými podlažími, nosníky po obvodě uložené v půlce sloupů a ocelovými táhly. Táhla se kříží ve středu každé stěny traktu.



Obr. 6: Prostorový model skeletu varianty 1



Obr. 7: Dolní část s konstrukcí podlaží – varianta 1



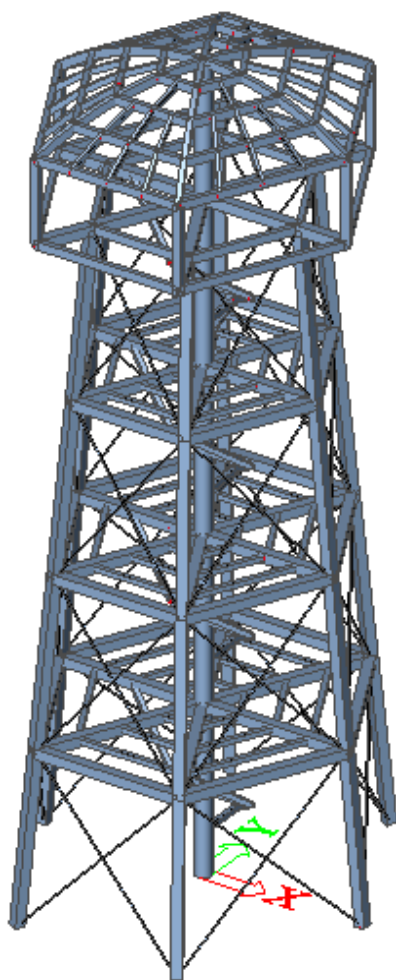
Obr. 8: Konstrukce střechy – varianta 1

2.2 Varianta 2

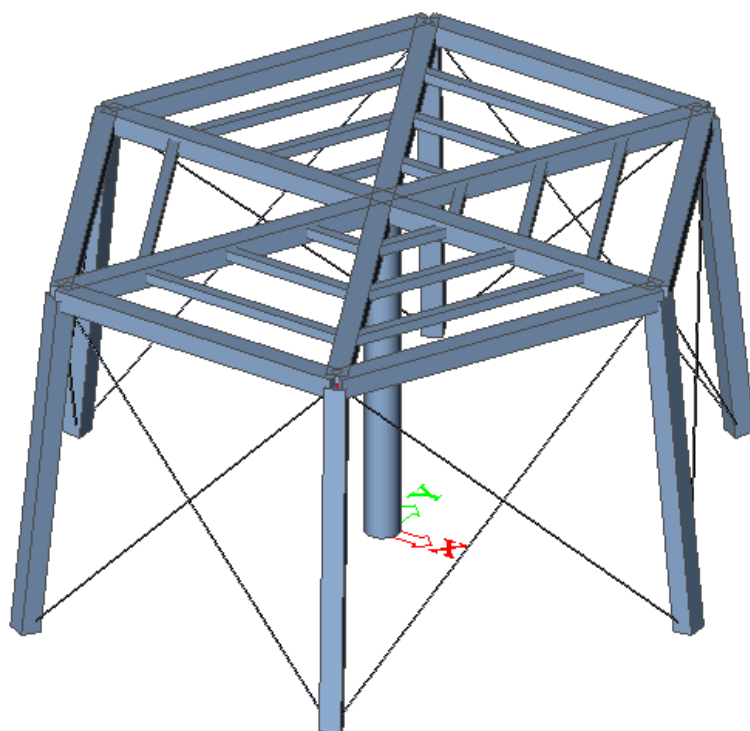
V půdoryse má rozhledna tvar pravidelného šestiúhelníku. Tvoří ji čtyři podlaží, které jsou mezi sebou vzdáleny po 5 metrech (obr. 9). Jednotlivá podlaží nad sebou nejsou pootočena a s rostoucí výškou se zmenšuje rozpětí plošin s výjimkou vrcholové plošiny, která má rozpětí větší. První plošina od spodu má rozpětí 9 metrů, druhá 8 metrů, třetí 7 metrů a vrcholová má 9 metrů. Krajiní sloupy uložené ve vrcholech šestiúhelníků se s rostoucí výškou sbíhají do středu. Rozhledna je rozdělena na čtyři části – každá s výškou 5 metrů. Ve středu rozhledny je umístěn sloup kruhového průřezu. Sloup kromě nosné a ztužující funkce také nese točité schodiště.

Konstrukce střechy je uložena na šesti krajních sloupech a jednom vrcholovém sloupu. Sloupy mají výšku 2,5 metru a střecha má výšku také 2,5 metru. Střechu tvoří kulovitá plocha, která je tvořena zakřivenými zaoblenými nosníky, které jsou uloženy na krajním a středovém sloupu (obr. 11). Mezi jednotlivými zakřivenými nosníky ve čtvrtinách jsou uloženy příčníky. Na příčnicích jsou uloženy krokve, které přenášejí zatížení do spodní konstrukce. Mezi jednotlivými krajními sloupy jsou uloženy nosníky, které zvyšují prostorovou tuhost konstrukce vrcholové plošiny. Střecha je tvořena stoprocentním bedněním uloženým na krokvích. Na bednění je vrstva vyrovnávací fólie, na kterou se položí pevně připevněný měděný plech. Ve vrcholu bude umístěná vrcholová měděná čepka.

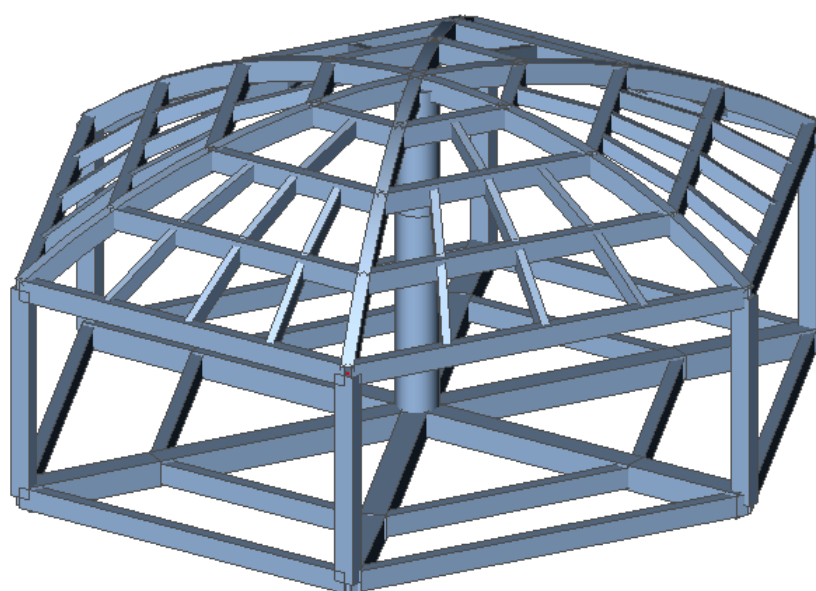
Nosná konstrukce rozhledny je tvořena obvodovými sloupy a centrálním sloupem. Obvodové sloupy jsou rozděleny na 4 části, vždy v úrovni podlaží. V úrovni podlaží jsou do spoje také připojeny obvodové nosníky, které vytvářejí šestiúhelník. A nosníky, které jsou uloženy ve spoji a na centrálním sloupu. Na centrálním sloupu je uloženo šest nosníků. Na těchto šesti nosnících jsou uloženy příčníky, které přenášejí zatížení z podlaží (obr. 10). Ve vrcholovém podlaží jsou nosníky s převislými konci. Na koncích a na obvodových sloupech jsou uloženy obvodové a vnitřní nosníky. Všechny spoje konstrukce jsou kloubové a typu dřevo-ocel. Patky jsou také kloubové. Prostorová tuhost je zajištěna jednotlivými podlažími a ocelovými táhly. Táhla se kříží ve středu každé z šesti stran traktu.



Obr. 9: Prostorový model skeletu varianty 2



Obr. 10: Dolní trakt, konstrukce podlaží – varianta 2



Obr. 11: Konstrukce střechy – varianta 2

2.3 Varianta 3

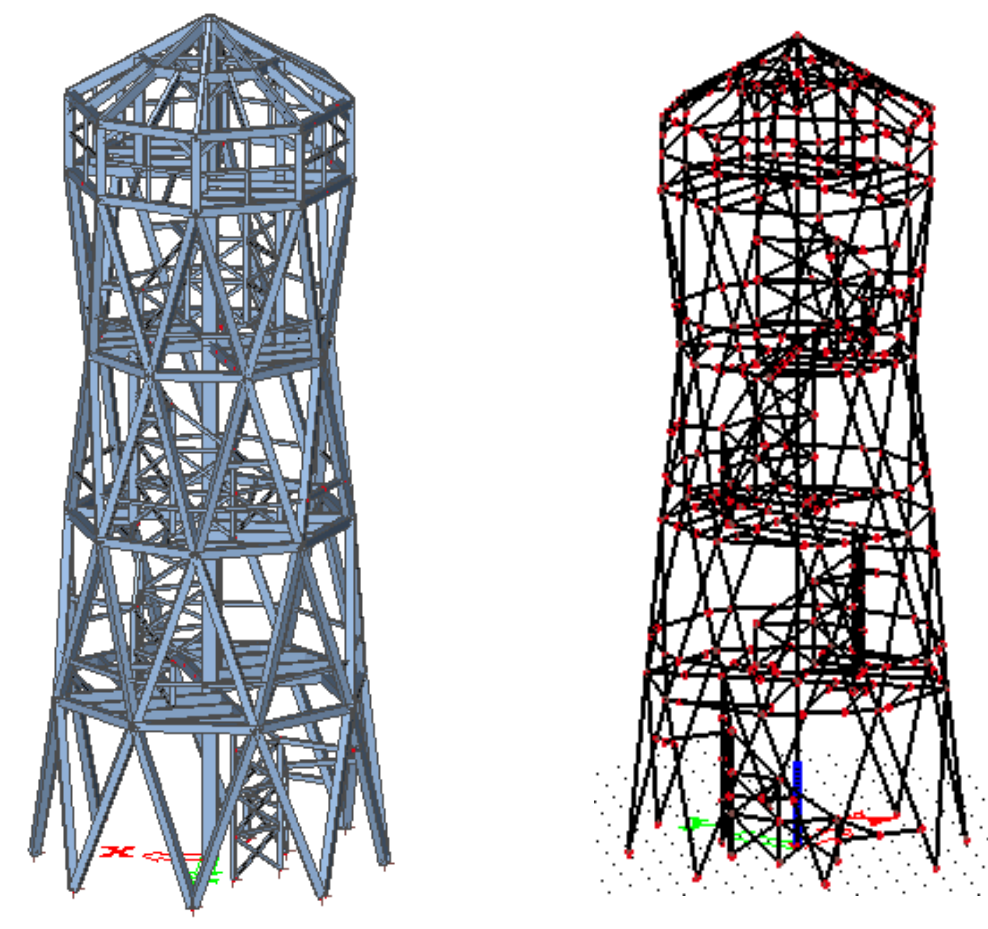
Základna rozhledny je tvořena pravidelným osmiúhelníkem o poloměru vnějšího kruhu 5 metrů. Nad základnou jsou čtyři osmiúhelníková podlaží (obr. 12). Každé podlaží je natočeno o $22,5^\circ$ od předchozího podlaží. Vrcholy jednotlivých osmiúhelníků jsou spojeny a vytváří vnější příhradový plášť z trojúhelníků (obr. 13). Trámy mají čtvercový průřez. První podlaží má poloměr 4,5 metru, druhé 4 metry, třetí 3,5 metru a nejvyšší podlaží 4 metry. Konstrukce se směrem vzhůru zužuje a ve třetím podlaží se rozšiřuje. Výškový rozdíl jednotlivých podlaží je 5 metrů. Středem rozhledny vede centrální nosný sloup do výšky 24,5 metru. Sloup má průřez pravidelného osmiúhelníku.

Konstrukce střechy je uložena na osmi krajních sloupech, čtyřech vnitřních sloupech a jednom centrálním sloupu (obr. 15, 16, 17). Vnější sloupy mají výšku 2,2 metru, vnitřní sloupy 3,35 metru a centrální sloup má výšku 4,5 metru. Sklon střechy má 30° . Střecha je věžového typu. Na vnějších sloupech jsou uloženy hlavní nárožní krokve sbíhající se ve vrcholu. Vnitřní sloupy podepírají čtyři z těchto krokví a také mají pásy, které podepírají vedlejší příčníky. Zbývající čtyři nárožní krokve jsou podepřeny pásy, které jsou spojeny s centrálním sloupem. V půlce délky nárožních krokví jsou uloženy příčníky. Vnější příčníky jsou uloženy v úrovni vnějších sloupů. Vedlejší krokve jsou uloženy v půlce délky příčníků. Střecha je tvořena stoprocentním bedněním uloženým na krovkách. Na bednění je vrstva vyrovnávací fólie, na kterou se položí pevně připevněný měděný plech. Ve vrcholu bude umístěná vrcholová měděná čepka.

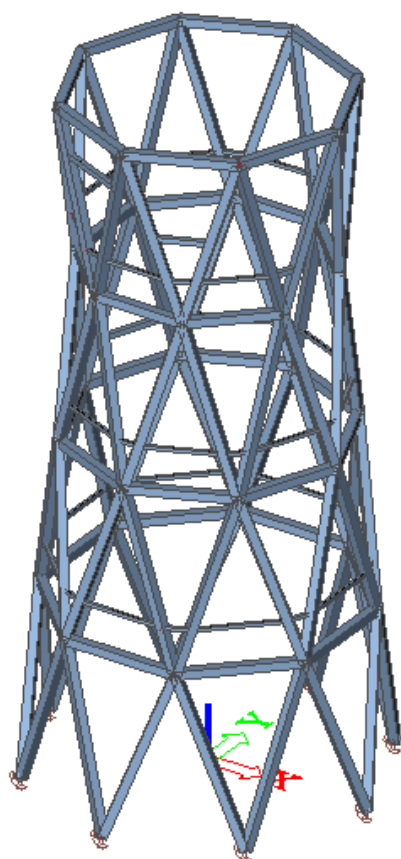
Nosná konstrukce rozhledny je tvořena obvodovými trámy, které tvoří příhradu, a centrálním sloupem. Obvodové trámy spojují sousedící podlaží a vytvářejí vždy 16 trojúhelníků. V úrovni podlaží jsou v každém spoji také uloženy obvodové nosníky podlaží (obr. 14). Každé podlaží je uloženo na čtyřech hlavních nosnících, které jsou uloženy na centrálním sloupu a spoji ve vrcholu osmiúhelníku. Na tyto hlavní nosníky jsou uloženy příčníky, které přenášejí zatížení z podlahy.

Schodiště je uloženo v každém podlaží vždy na čtyřech nosnících. Vrcholový nosník je tvořen hlavním nosníkem podlaží. Zbývající tři nosníky jsou uloženy na vnitřním sloupu a na trámu uloženém na vnějších trámech. Mezi jednotlivými vnitřními sloupy jsou prvky čtvercového průřezu zajišťující prostorovou tuhost. Prostorová tuhost celé konstrukce je zajištěna systémem trojúhelníků. Všechny spoje konstrukce jsou kloubové a typu dřevo-ocel. Patky jsou také kloubové.

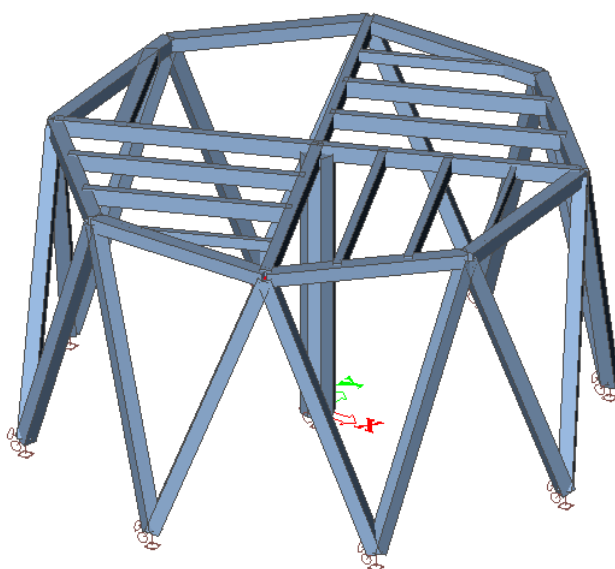
Rozhledna byla vymodelována v programu Scia Engineer 15.1. Model obsahuje celkem 427 prutů a 344 uzlů. Prvky jsou z osmi různých průřezů.



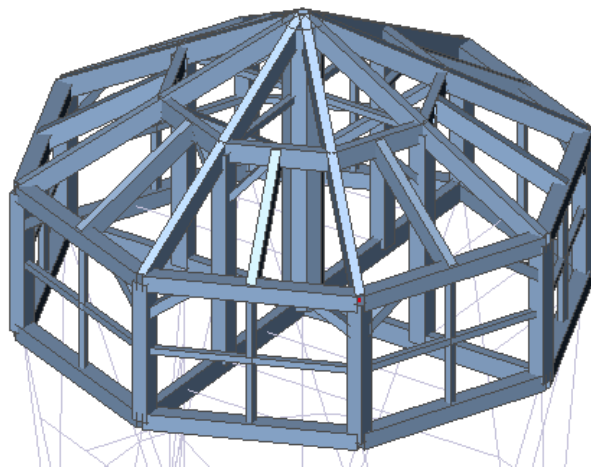
Obr. 12: Prostorový model skeletu – varianta 3



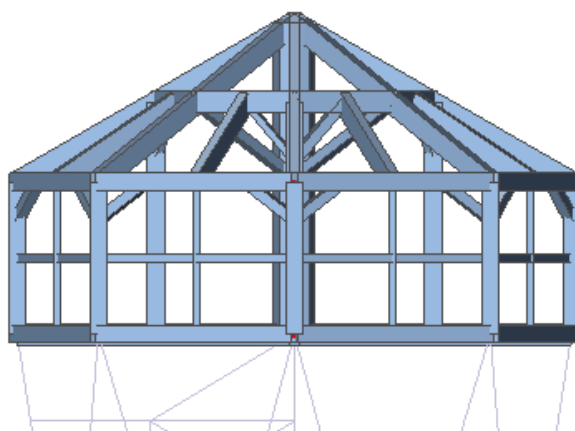
Obr. 13: Vnější trámy rozhledny



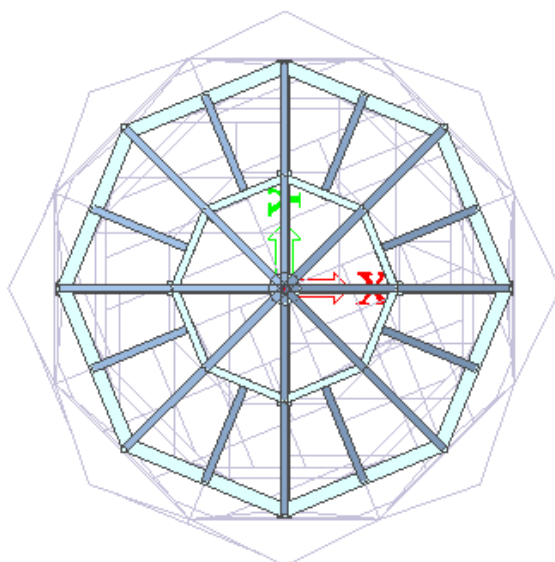
Obr. 14: Nosné prvky dolního podlaží



Obr. 15: Prostorový model konstrukce střechy



Obr. 16: Boční pohled na konstrukci střechy



Obr. 17: Půdorys konstrukce střechy

3 Materiálové charakteristiky

Při návrhu bylo použito rostlé a lepené lamelové dřevo. Rozhledna je umístěna v horách, kde většina staveb je z rostlého dřeva. Viditelné prvky jsou z rostlého dřeva a prvky částečně skryté jsou z lepeného lamelového dřeva, které má lepší mechanické vlastnosti. Rostlé dřevo je typu C30 a lepené lamelové dřevo GL32h. Tyto materiály byly použity kvůli vyšší odolnosti proti biotickým vlivům, vyšší únosnosti a časové trvanlivosti. Z rostlého dřeva jsou obvodové trámy. Centrální sloup, nárožní a vedlejší krokve a nosníky tvořící podlaží jsou z lepeného lamelového dřeva. Konstrukce je v dostatečné výšce nad terénem a prvky jsou vystaveny účinky větru. Vlhkost, která působí na konstrukci, spadá do třídy provozu 2. součinitel k_{mod} je pro krátkodobá zatížení [1].

3.1 Rostlé dřevo C30

Charakteristické vlastnosti:

$$f_{m,k} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8\,000 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_M = 1,3$$

Návrhové hodnoty:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Pro $k_{mod} = 0,9$ (krátkodobé zatížení)

$$f_{m,d} = 20,77 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = 12,47 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 15,92 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 2,08 \text{ MPa}$$

3.1 Lepené lamelové dřevo GL32h

Charakteristické vlastnosti:

$$f_{m,k} = 32 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 29 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 6 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 10\,800 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 440 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_M = 1,25$$

Návrhové hodnoty

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Pro $k_{mod} = 0,9$ (krátkodobé zatížení)

$$f_{m,d} = 23,04 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 20,88 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = 4,32 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 2,52 \text{ MPa}$$

4 Stanovení zatížení

Rozhledna je namáhána stálým a užitným zatížením a zatížením od sněhu a větru. Výpočet jednotlivých zatížení je v charakteristických hodnotách. Výpočet byl proveden dle norem ČSN EN 1991-1-1[2], ČSN EN 1991-1-3[3] a ČSN EN 1991-1-4[4]. Zatížení jsou na střeše spočítána na roznášecí šířku krokve a na jednotlivých plošinách na roznášecí šířku příčníků. Celkem bylo vytvořeno sedmnáct zatěžovacích stavů. Vlastní tíha, stálé zatížení, dva stavy od užitného zatížení, pět stavů od zatížení sněhem a osm od zatížení větrem. Jednotlivé zatěžovací stavy byly vynásobeny příslušnými součiniteli a vzniklo 13 kombinací, ze kterých byly spočítány obalové křivky vnitřních sil jednotlivých prvků. Vše bylo vymodelováno a spočítáno ve studentské verzi programu Scia Engineer 15.1.

4.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení působící na konstrukci je od střešního pláště a vlastní tíhy jednotlivých prvků. Střešní plášť se skládá z pevně připevněného měděného plechu, izolační fólie a bednění. Stálé zatížení působící na konstrukci je umístěno na hlavních krokvích, které mají maximální roznášecí šířku 1,41 metru. Podlahy jednotlivých podlaží jsou z dřevěných prken ve dvou vrstvách na sebe kladených a roznášecí šířka trámů je 1m.

Typ zatížení	Výpočet	Zatížení g_k [kN/m]
Měděný plech ($\gamma = 26,88 \text{ kg/m}^2$)	$0,27 \cdot 1,41$	0,38
Izolační fólie ($\gamma = 4,5 \text{ kg/m}^2$)	$0,045 \cdot 1,41$	0,06
Podbití dřevěnými deskami ($\gamma = 5 \text{ kg/m}^2$)	$0,05 \cdot 1,41$	0,07
CELKEM		0,51

Tabulka č. 1 Stálé zatížení na střeše

Stálé zatížení na střeše **$g_k = 0,51 \text{ kN/m}$**

Typ zatížení	Výpočet	Zatížení g_k [kN/m]
Podbití dřevěnými deskami x2 ($\gamma = 5 \text{ kg/m}^2$)	$0,05 \cdot 1,00 \cdot 2$	0,1
CELKEM		0,1

Tabulka č.2 Stálé zatížení na podlahu

Stálé zatížení podlaží **$g_k = 0,100 \text{ kN/m}$**

4.2 Užitné zatížení

4.2.1 Užitné zatížení střechy

Užitné zatížení je zatížení typu H. Typ pro nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby a oprav.

Charakteristické zatížení $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Roznášecí šířka krokve – 1,41 m $q_k = 1,41 \cdot 0,75$

Užitné zatížení **$q_k = 1,06 \text{ kN/m}$**

4.2.2 Užitné zatížení plošin a zábradlí

Jednotlivé plošiny, po kterých se mohou turisté volně pohybovat, spadají podle normy [2] do kategorie C5 - plochy, kde může dojít k velké koncentraci lidí. Na hlavních a obvodových nosnících budou uloženy příčníky, na kterých se spočte spojitě zatížení.

Charakteristické zatížení $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

Roznášecí šířka nosníků – 1 m => $q_k = 5 \cdot 1$

Užitné zatížení **$q_k = 5 \text{ kN/m}$**

Užitné zatížení pro zábradlí je dle normy pro kategorii C5 v rozmezí $q_k = 3,0 \text{ kN/m} - 5,0 \text{ kN/m}$. Byla zvolena maximální hodnota, kvůli možnému velkému výskytu turistů.

Vodorovné užitné zatížení **$q_k = 5 \text{ kN/m}$**

4.3 Zatížení sněhem

Rozhledna je navržena v Beskydech na vrcholu Smrk, které odpovídá sněhové oblasti VIII. Typ okolní krajiny je normální. Pro danou střechu bylo potřeba spočítat navátý i nenavátý sníh. Roznášecí šířka je 1,41 metru.

Výpočet zatížení:

- Sněhová oblast VIII $\Rightarrow s_k=4,0 \text{ kN/m}^2$
- Součinitel expozice – typ krajiny normální $\Rightarrow C_e=1,0$
- Tepelný součinitel $\Rightarrow C_t=1,0$
- Sklon střechy
 - $\alpha_1=30^\circ$ $\Rightarrow \mu_{1,1}=0,8$
- Roznášecí šířka $\Rightarrow l = 1,41 \text{ m}$

Zatížení sněhem

$$s_{k,1} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_{1,1} = 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1,41 = 4,51 \text{ kN/m}$$

$$s_{k,2} = 0,5 \cdot s_{k,1} = 0,5 \cdot 4,512 = 2,26 \text{ kN/m}$$

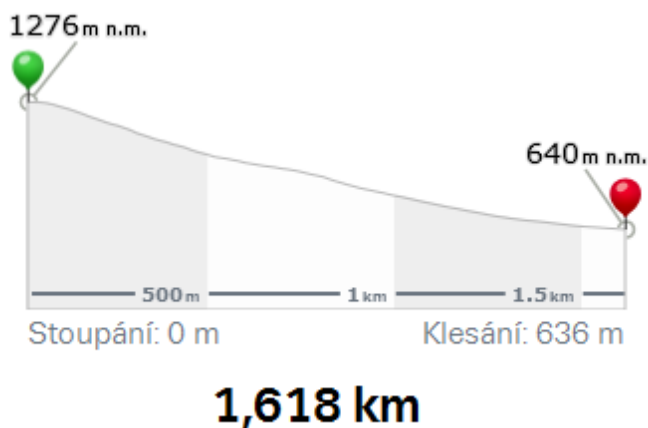
4.4 Zatížení větrem

Rozhledna se nachází ve větrové oblasti V a výchozí základní rychlost větru byla zvolena 35 m/s. Okolní terén je kategorie III. Při výpočtu byla zohledněna poloha rozhledny na vrcholu kopce, která značně ovlivní výsledný tlak. Střecha rozhledny byla řešena jako přístřešek. Pro výpočet jednotlivých charakteristických zatížení výsledného tlaku byla střecha rozdělena na oblasti dle působení větru. (obr. 20, 21). Konstrukce je symetrická a vítr byl uvažován ve dvou směrech (obr. 20, 21). Zatížení bylo spočteno na hlavní krokve, jejichž maximální roznášecí šířka je 1,41 m. Zbylá nosná kostra byla řešena jako příhradová konstrukce.

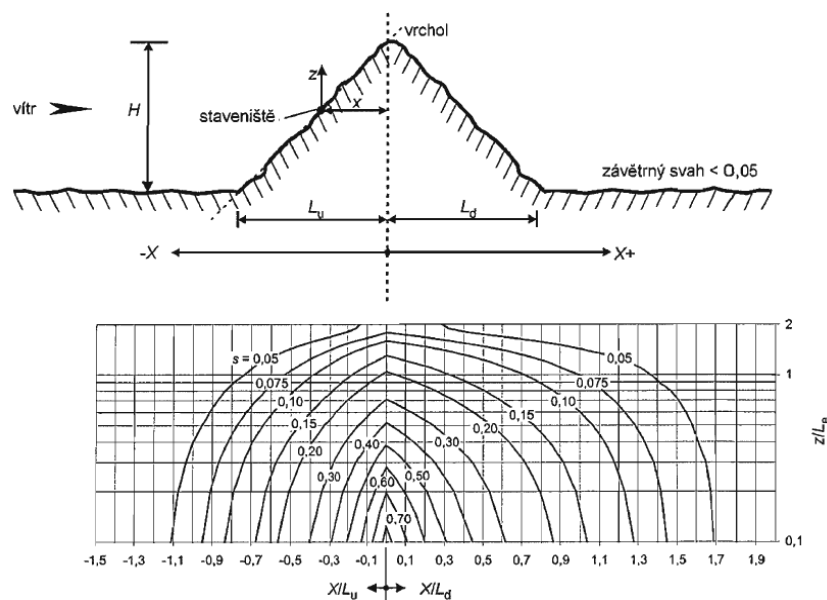
Výpočet rychlosti a charakteristického tlaku větru:

- Větrová oblast V $\Rightarrow v_{b,0}=35 \text{ m/s}$
- Základní rychlost větru
 - $v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season}$ (pro ČR platí $c_{dir}=1,0$; $c_{season}=1,0$)
 - $v_b=25 \text{ m/s}$
- Referenční výšky
 - $h = 24,5\text{m}$ $\Rightarrow z = h = 24,5 \text{ m}$
- Součinitel drsnosti (vzorec platí pro výšku h , která je mezi hodnotami $z_{min}=5$ a $z_{max} = 200\text{m}$)
 - $c_r(z) = k_r \cdot \ln \cdot \frac{z}{z_0}$
 - terén kategorie III $\Rightarrow z_0=0,3$
 - $z_{0,II}=0,05$
 - $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$
 - $c_r(z) = 0,215 \cdot \ln \cdot \left(\frac{24,5}{0,3}\right) = 0,947$
- Součinitel ortografie

Na izolovaných hřebenech a strmých svazích jsou jiné hodnoty, které jsou závislé na sklonu návětrného svahu. Z map byla zjištěna účinná délka a výška svahu (obr. 18). Svah byl určen jako strmý. Rozhledna je vzdálena od vrcholu 50m. Na tuto vzdálenost terén klesne o 5m. Pro výpočet byl použit graf pro kopce a hřebeny hor (obr. 19).



Obr. 18: Schéma terénu v Beskydech na vrcholu Smrk



Obr. 19: Součinitel s pro kopce a hřebeny [4]

- $\Phi = \frac{H}{L} = \frac{636}{1618} = 0,39$
- $L_e = \frac{H}{0,3} = 2120 \text{ m}$
- $x = 50 \text{ m}$
- $z = 5 \text{ m}$
- $A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 1,0124 = 1,008$
- $B = 0,3542 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,0577 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 2,6456 = 2,64$
- $s = A \cdot e^{\left(B \frac{x}{L_u}\right)} = 1,008 \cdot e^{(2,643 \cdot (-0,03))} = 0,93$

Pro sklon návětrného svahu $\Phi > 0,3$ platí:

- $c_o = 1 + 0,6s = 1 + 0,6 \cdot 0,931 = \mathbf{1,56}$
- Charakteristická střední rychlost větru
 - $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,947 \cdot 1,559 \cdot 35 = 51,67 \text{ m/s}$
- Maximální charakteristický tlak
- $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2$
- Intenzita turbulence $I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,559 \cdot \ln \frac{24,5}{0,3}} = 0,15$
- Hustota větru $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- $q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,146] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 51,67^2 = \mathbf{3,37 \text{ kN/m}^2}$

4.4.1 Výpočet spojitého zatížení na střechu

Součinitelé výsledného tlaku/sání $c_{p,net}$ pro dané oblasti a sklony [6]:

Sklon 30 stupňů:

Maximum

Minimum

$$c_{p,net}^A = 0,9$$

$$c_{p,net}^A = -0,9$$

$$c_{p,net}^B = 1,9$$

$$c_{p,net}^B = -1,7$$

$$c_{p,net}^C = 1,4$$

$$c_{p,net}^C = -1,4$$

$$c_{p,net}^D = 0,4$$

$$c_{p,net}^D = -1,8$$

Výsledné tlaky a sání větru na střešní konstrukci:

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{p,net}) = 3,37 \cdot (c_{p,net})$$

$$w_k^{A+} = 924,44 \cdot (c_{p,net}^{A+}) = 3373,95 \cdot 0,9 \cdot 1,41 = 4,28 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{A-} = 924,44 \cdot (c_{p,net}^{A-}) = 3373,95 \cdot (-0,9) \cdot 1,41 = -4,28 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{B+} = 924,44 \cdot (c_{p,net}^{B+}) = 3373,95 \cdot 1,9 \cdot 1,41 = 9,04 \text{ kN/m}$$

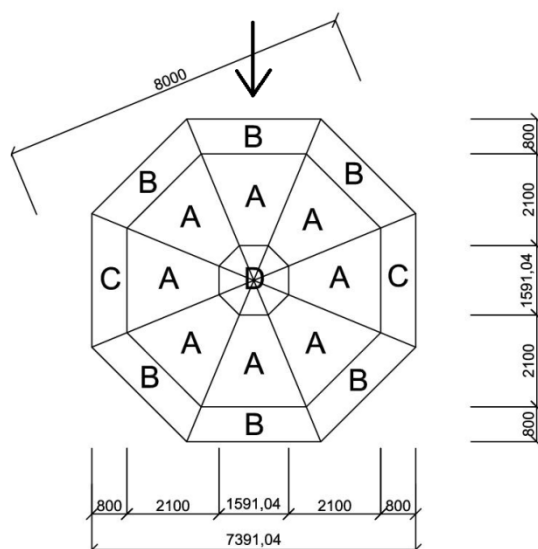
$$w_k^{B-} = 924,44 \cdot (c_{p,net}^{B-}) = 3373,95 \cdot (-1,7) \cdot 1,41 = -8,09 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{C+} = 924,44 \cdot (c_{p,net}^{C+}) = 3373,95 \cdot 1,4 \cdot 1,41 = 6,66 \text{ kN/m}$$

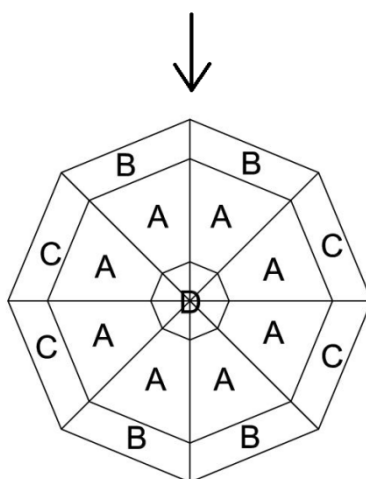
$$w_k^{C-} = 924,44 \cdot (c_{p,net}^{C-}) = 3373,95 \cdot (-1,4) \cdot 1,41 = -6,66 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{D+} = 924,44 \cdot (c_{p,net}^{D+}) = 3373,95 \cdot 0,4 \cdot 1,41 = 1,90 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{D-} = 924,44 \cdot (c_{p,net}^{D-}) = 3373,95 \cdot (-1,8) \cdot 1,41 = -8,56 \text{ kN/m}$$



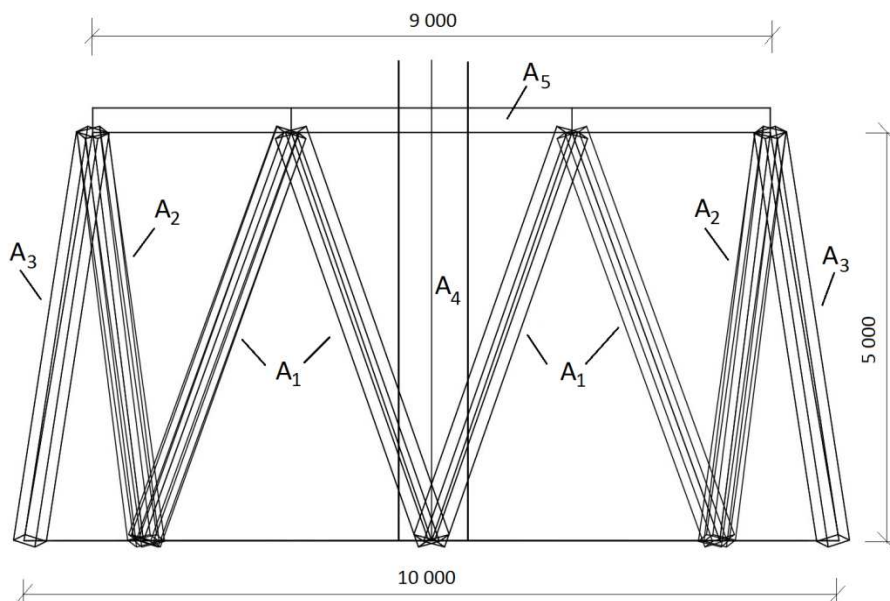
Obr. 20: Vítr působící v půdoryse na stranu osmiúhelníku



Obr. 21: Vítr působící v půdoryse na vrchol osmiúhelníku

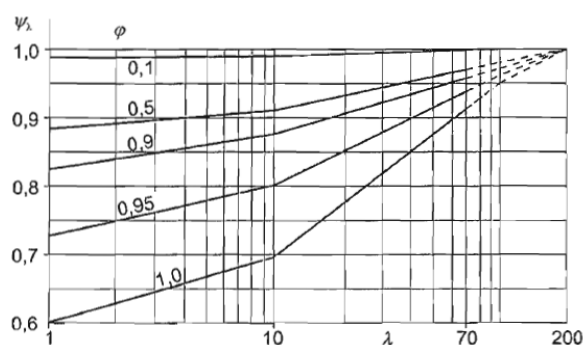
4.4.2 Výpočet zatížení na nosné prvky konstrukce

Při výpočtu zatížení větrem na příhradovou konstrukci je potřeba spočítat součinitel síly, který je ovlivněn součinitelem koncového efektu Ψ_λ , který je funkcí štíhlosti a také součinitel plnosti. Pro výpočet součinitele plnosti je potřeba porovnat celkovou zaplněnou plochu a plochu skutečnou. Skutečná plocha byla spočtena na jedno patro konstrukce (obr. 22). Na ostatní patra je poměr ploch obdobný. Do skutečné plochy bylo započítáno i zábradlí a to jako 10% z celkové plochy.



Obr. 22: Náhled na patro rozhledny

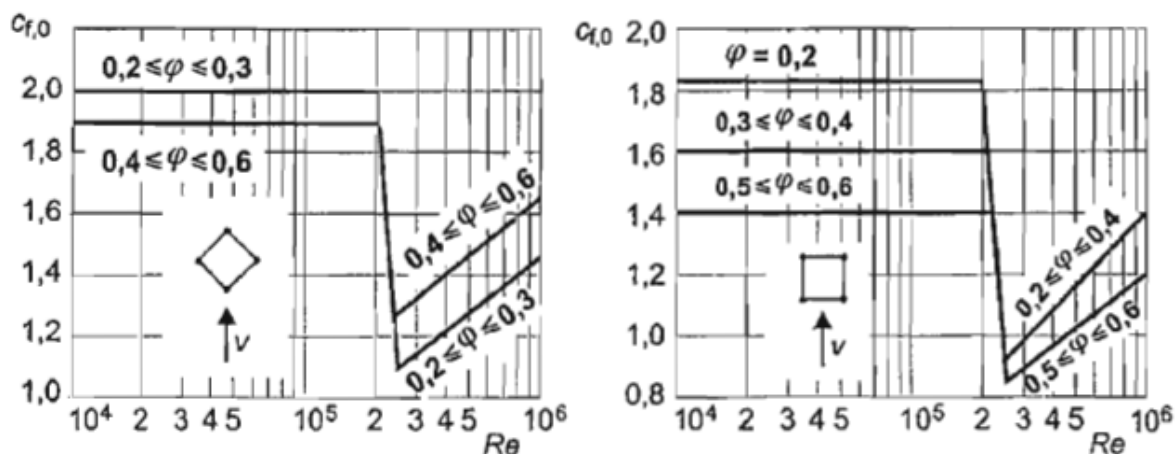
- Výpočet součinitele plnosti
 - $A_c = A_c + A_3 + A_5 = 9,5 \cdot 5 + 0,392 \cdot 5 + 0,3 \cdot 9 = 52,16 \text{ m}^2$
 - $A = 4 \cdot A_1 + 2 \cdot A_2 + 2 \cdot A_3 + A_4 + A_5 = 4 \cdot 0,392 \cdot 5 + 2 \cdot 0,392 \cdot 5 + 2 \cdot 0,392 \cdot 5 + 0,4 \cdot 5 + 0,3 \cdot 9 = 20,38 \text{ m}^2$
 - Některé plochy se překrývají (19,54%) a je potřeba ještě započíst zábradlí (10%)
 - $A = 20,38 \cdot 0,805 + 52,16 \cdot 0,1 = 21,61 \text{ m}^2$
 - $\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{21,61}{52,16} = 0,40$
 - Součinitel koncového efektu
 - Štíhlost $\lambda = \frac{l}{b} = \frac{24,5}{8} = 3,06$
 - $\psi_\lambda = 0,93$



Obr. 23: Součinitel koncového efektu [4]

- Součinitel síly byl zjištěn z tabulek z normy (obr. 23), kde byl vybrán tvar příhradové konstrukce jako pro čtverec, protože se nejvíce podobá tvaru rozhledny. Součinitel síly byl vybrán v obou variantách působení větru.

- Reynoldsovo číslo pro vzduch $Re = 1,6 \cdot 10^5$



Obr. 24: Součinitel síly pro prostorovou příhradovou konstrukci [4]

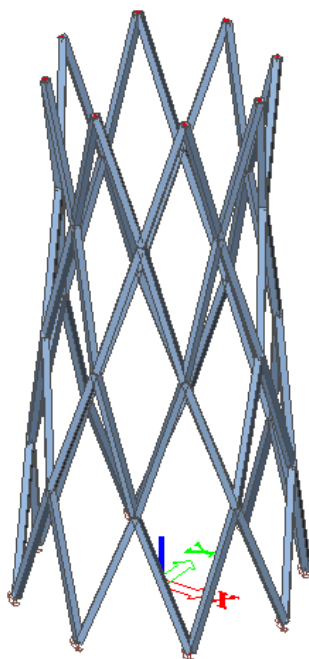
- Součinitel síly pro vítr foukající na vrchol osmiúhelníku
 - $c_{f,1} = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda = 1,9 \cdot 0,93 = 1,77$
- Součinitel síly pro vítr foukající na stranu osmiúhelníku
 - $c_{f,2} = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda = 1,6 \cdot 0,93 = 1,49$
- Součinitel konstrukce $c_s c_d$ byl zvolen dle hodnot, pro konstrukce, které se podobají rozhledně z norem, kde byly odvozeny z lineární analýzy
- $c_s c_d = 1,1$
- Pro výpočet sil od větru je potřeba započíst referenční plochu prvků. Aby se výpočtový model podobal co nejvíce skutečnosti, byla jako referenční hodnota zvolena pouze šířka jednotlivých trámů. Vypočtená hodnota tedy udává spojitě zatížení působící na jednotlivé prvky, které jsou natočeny v různých úhlech.
- Vítr foukající na vrchol osmiúhelníku
 - $f_{w,1} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 1,1 \cdot 1,767 \cdot 3373,95 \cdot 0,392 = 2,57 \frac{kN}{m}$
- Vítr foukající na stranu osmiúhelníku pro různé plochy
 - $f_{w,2} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 1,1 \cdot 1,488 \cdot 3373,95 \cdot 0,424 = 2,34 \frac{kN}{m}$
 - $f_{w,3} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 1,1 \cdot 1,488 \cdot 3373,95 \cdot 0,392 = 2,17 \frac{kN}{m}$
 - $f_{w,4} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 1,1 \cdot 1,488 \cdot 3373,95 \cdot 0,30 = 1,66 \frac{kN}{m}$

5 Návrh a posouzení prvků rozhledny

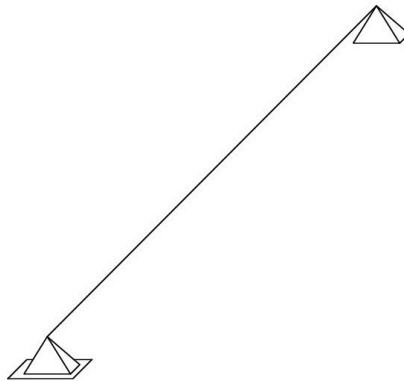
Pro navrhnutí a posouzení jednotlivých prvků konstrukce byla zvolena třetí varianta rozhledny. Při navrhování a posuzování prvků byly vybrány prvky s maximálními vnitřními silami. Maximální vnitřní síly byly vzaty z obalových křivek kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů spočtených v programu Scia Engineer 15.1. Posudek byl proveden pro první i druhý mezní stav podle normy ČSN EN 1995-1-1[1]. Jednotlivé prvky byly navrženy na vzpěrný tlak, ohyb, jejich kombinaci a smyk. Prvky jsou spojeny kloubově, a proto nenastalo kroucení. Pro mezní stav použitelnosti byly vypsány hodnoty průhybu od stálého, hlavního a vedlejších proměnných zatížení. Z nich byl spočten a posouzen maximální konečný průhyb.

5.1 Vnější trámy (250x250, C30)

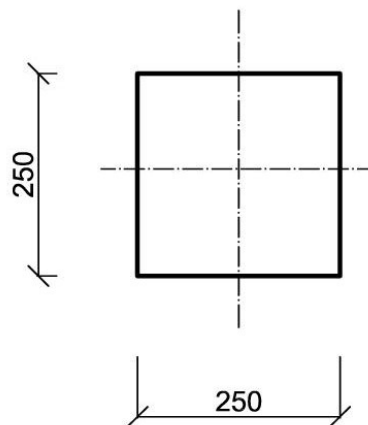
Návrh a posudek byl proveden na trámy tvořící vnější příhradovou konstrukci rozhledny. Ze statického hlediska jsou to prostorové prostě podepřené šikmé nosníky. Trámy byly posouzeny na vzpěrný tlak, smykovou sílu a kombinaci vzpěru a ohyb.



Obr. 25: Vnější trámy – model



Obr. 28: Statické schéma vnějších nosníků



Obr. 29: Průřez vnějšího trámu

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 62\,500 \text{ mm}^2$
 - $W_y = W_z = 2,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
 - $I_y = 326 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
 - $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 72,18 \text{ mm}$

Posudek – MSÚ

- Vnitřní síly
 - $M_z = 18,26 \text{ kNm}$ ($M_y = 10,01 \text{ kNm}$, $N = -324,50 \text{ kN}$)
 - $N_{\text{MAX}} = -463,80 \text{ kN}$
 - $V_{\text{MAX}} = 17,37 \text{ kN}$

- VZPĚRNÝ TLAK

$$- L_{cr} = 5\,350\text{mm}$$

$$- \lambda = \frac{L_{cr}}{i_y} = 74,12$$

$$- \sigma_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 24,89 \text{ MPa}$$

$$- \lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = 0,961$$

$$- \beta_c = 0,2 \quad (\text{pro RD})$$

$$- k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 1,03$$

$$- k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel}^2}} = 0,72$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ED}}{A} = 7,42 \text{ MPa} < k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} = 11,43 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- KOMBINACE VZPĚRU a OHYBU

$$- \sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ED}}{A} = 5,19 \text{ MPa}$$

$$- \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = 3,85 \text{ MPa}$$

$$- \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed}}{W_z} = 7,02 \text{ MPa}$$

$$- k_{c,z} = 0,718$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,98 < 1$$

VYHOVUJE

- SMYK

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 A} = 0,29 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,08 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Mezní stav použitelnosti

- $L = 5\,350\text{ mm}$
- $w_{\text{inst,G}} = 0,0\text{ mm}$
- $w_{\text{inst,Q1}} = 6,7\text{ mm}$
- $w_{\text{inst,Q2}} = 0,0\text{ mm}$
- $w_{\text{inst,Q3}} = 0,0\text{ mm}$

- Konečný průhyb (třída provozu 2 - $k_{\text{def}} = 0,8$):
 - $w_{\text{fin,Q1}} = w_{\text{inst,Q1}} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{\text{def}}) = 6,7 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 6,7$
 - $w_{\text{fin}} = w_{\text{fin,Q1}} = 6,7\text{ mm}$

$$w_{\text{fin}} < \frac{L}{250}$$
$$6,7\text{ mm} < 21,4\text{ mm}$$

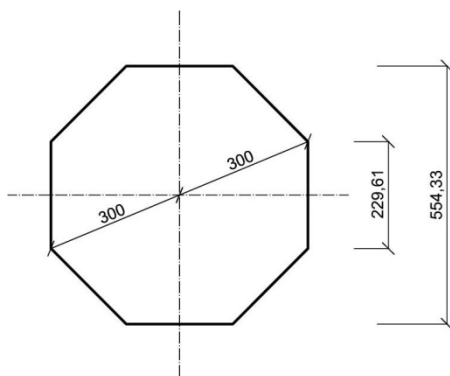
VYHOVUJE

5.2 Vnitřní sloup (osmiúhelník – R300, G124h)

Centrální sloup je namáhán hlavní osovou silou. Musí také přenášet smykové síly a ohybové momenty od podlaží a střechy. Posouzen byl na smyk a na kombinaci vzpěru a ohybu.



Obr. 30: Statické schéma centrálního sloupu



Obr. 31: Průřez centrálního sloupu

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 254\,560 \text{ mm}^2$
 - $W_y = W_z = 17,228 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
 - $I_y = 5,168 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$
 - $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 142 \text{ mm}$

Posudek – MSÚ

- Vnitřní síly
 - $M_z = 135,2 \text{ kNm}$ ($M_y = 122,96 \text{ kNm}$, $N = -46,12 \text{ kN}$)
 - $N_{\text{MAX}} = -176,04 \text{ kN}$
 - $V_{\text{MAX}} = 114,72 \text{ kN}$
- KOMBINACE VZPĚRU a OHYBU
 - $L_{\text{cr}} = 4\,500 \text{ mm}$
 - $\lambda = \frac{L_{\text{cr}}}{i_y} = 31,7$
 - $\sigma_{\text{cr},y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 78,57 \text{ MPa}$
 - $\lambda_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit}}}} = 0,54$
 - $\beta_c = 0,1$ (pro LLD)
 - $k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{\text{rel}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel}}^2] = 0,67$
 - $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = 0,94$
 - $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = 0,18 \text{ MPa}$
 - $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed}}}{W_y} = 7,14 \text{ MPa}$
 - $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{\text{Ed}}}{W_z} = 7,85 \text{ MPa}$
 - $k_{c,z} = 0,718$
 - $$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,73 < 1$$

VYHOVUJE

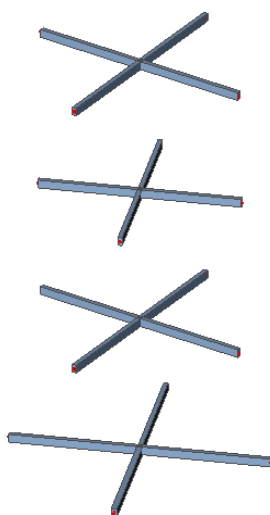
- SMYK

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{\text{Ed}}}{2 A} = 0,68 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,08 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

5.3 Hlavní nosníky podlaží (150x300, GL32h)

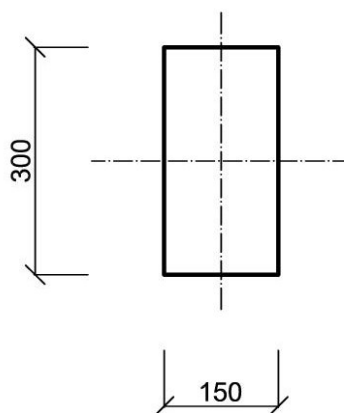
Nosníky přenášejí zatížení z příčníků a jsou zatíženy hlavně smykovými silami a ohybovými momenty. Musí také přenášet normálové síly od větru působícího na vnější trámy. Posouzeny byly na tlak, smyk a ohyb. Kombinace ohybu a tlaku není rozhodující.



Obr. 32 Hlavní nosníky podlaží - model



Obr. 33: Statické schéma vnějšího trámu



Obr. 34: Průřez hlavního nosníku podlaží

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 45\,000\text{ mm}^2$
 - $W_y = 2,25 \cdot 10^6\text{ mm}^3$

Posudek - MSÚ

- Vnitřní síly
 - $V_{MAX} = 39,35\text{ kN}$
 - $M_{MAX} = 50,39\text{ kNm}$
 - $N_{MAX} = -57,21\text{ kN}$
- PROSTÝ TLAK

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ED}}{A} = 1,27\text{ MPa} < f_{c,0,d} = 20,88\text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- OHYB

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = 22,396\text{ MPa} < f_{m,d} = 23,04\text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- SMYK

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 A} = 1,317\text{ MPa} < f_{v,d} = 2,52\text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Mezní stav použitelnosti

- $L = 4\,500\text{ mm}$
- $w_{inst,G} = 1,7\text{ mm}$
- $w_{inst,Q1} = 6,7\text{ mm}$
- $w_{inst,Q2} = 0,0\text{ mm}$
- $w_{inst,Q3} = 0,6\text{ mm}$
- Konečný průhyb (třída provozu 2 - $k_{def} = 0,8$):
 - $w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,7 \cdot (1 + 0,8) = 3,1\text{ mm}$
 - $w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 6,7 \cdot (1 + 0,6 \cdot 0,8) = 9,9$
 - $w_{fin,Q2} = w_{inst,Q2} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) = 0,0 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0$
 - $w_{fin,Q3} = w_{inst,Q3} \cdot (\psi_{0,3} + \psi_{2,3} \cdot k_{def}) = 0,6 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,8) = 0,4$
 - $w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Q2} + w_{fin,Q3} = 13,4\text{ mm}$

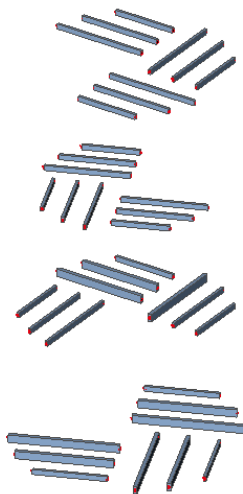
$$w_{fin} < \frac{L}{250}$$

$$13,4\text{ mm} < 18\text{ mm}$$

VYHOVUJE

5.4 Příčníky podlaží (120x200, GL32h)

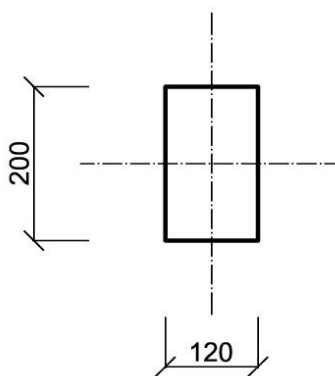
Namáhání příčníků je obdobné jako u hlavních nosníků.



Obr. 35: Příčníky - model



Obr. 36: Statické schéma příčníků



Obr. 37: Průřez příčníku

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 24\,000\text{ mm}^2$
 - $W_y = 8,00 \cdot 10^5\text{ mm}^3$

Posudek - MSÚ

- Vnitřní síly
 - $V_{MAX} = 15,87 \text{ kN}$
 - $M_{MAX} = 15,84 \text{ kNm}$
 - $N_{MAX} = 26,99 \text{ kN}$
- PROSTÝ TLAK

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ED}}{A} = 1,125 \text{ MPa} < f_{c,0,d} = 20,88 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- OHYB

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_{y,}} = 19,8 \text{ MPa} < f_{m,d} = 23,04 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- SMYK

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 A} = 0,571 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,69 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Mezní stav použitelnosti

- $L = 4\,000 \text{ mm}$
- $w_{inst,G} = 0,9 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q1} = 9,4 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q2} = 0,0 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q3} = 0,0 \text{ mm}$
- Konečný průhyb (třída provozu 2 - $k_{def} = 0,8$):
 - $w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,9 \cdot (1 + 0,8) = 1,6 \text{ mm}$
 - $w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 9,4 \cdot (1 + 0,6 \cdot 0,8) = 13,9$
 - $w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} = 15,5 \text{ mm}$

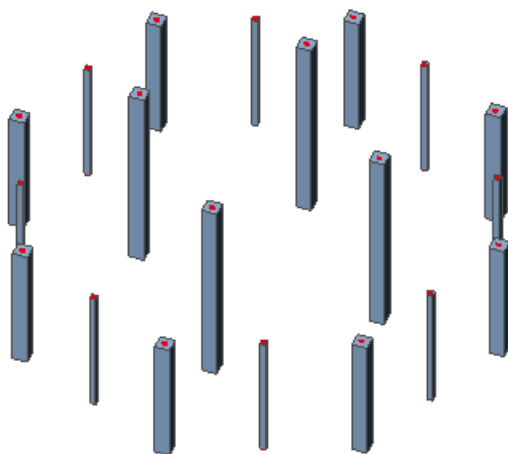
$$w_{fin} < \frac{L}{250}$$

$$15,5 \text{ mm} < 16 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

5.5 Sloupky střechy

Sloupky jsou ve dvou různých průřezích. Sloupy vnitřní mají rozměry 200x200mm a sloupky okrajové 220x220mm. Kromě osových sil musí přenášet i síly kolmé a proto byly posouzeny na kombinace vzpěru a ohybu a na smyk. U okrajových sloupků není potřeba uvažovat vzpěr, kvůli malé kritické délce.

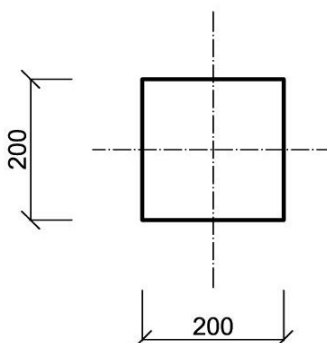


Obr. 38: Sloupy střechy - model



Obr. 39: Statické schéma sloupu střechy

5.5.1 Vnitřní sloupy (200x200, C30)



Obr. 38: Průřez vnitřního sloupu střechy

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 40\,000\text{ mm}^2$
 - $W_y = W_z = 1,33 \cdot 10^6\text{ mm}^3$
 - $I_y = 133,33 \cdot 10^6\text{ mm}^4$
 - $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 57,7\text{ mm}$

Posudek – MSÚ

- Vnitřní síly
 - $M_y = 12,51\text{ kNm}$ ($M_z = 2,27\text{ kNm}$, $N = 32,83\text{ kN}$)
 - $N_{\text{MAX}} = -46,70\text{ kN}$
 - $V_{\text{MAX}} = 14,94\text{ kN}$
- VZPĚRNÝ TLAK
 - $L_{\text{cr}} = 3\,350\text{ mm}$
 - $\lambda = \frac{L_{\text{cr}}}{i_y} = 58,06$
 - $\sigma_{\text{cr},y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 23,42\text{ MPa}$
 - $\lambda_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{\text{c,crit}}}} = 0,99$
 - $\beta_c = 0,2$ (pro RD)
 - $k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{\text{rel}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel}}^2] = 1,06$
 - $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = 0,700$
 - $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{ED}}}{A} = 1,17\text{ MPa} < k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} = 11,08\text{ MPa}$

VYHOVUJE

- KOMBINACE VZPĚRU a OHYBU

- $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = 0,82 \text{ MPa}$

- $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = 9,41 \text{ MPa}$

- $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed}}{W_z} = 1,71 \text{ MPa}$

- $k_{c,z} = 0,696$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,61 < 1$$

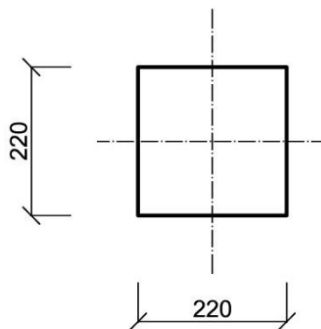
VYHOVUJE

- SMYK

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 A} = 0,560 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,08 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

5.5.2 Vnější sloupky - vrcholové (220x220, C30)



Obr. 39: Průřez vnějšího sloupu střechy

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 48\,400 \text{ mm}^2$
 - $W_y = W_z = 1,77 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

Posudek – MSÚ

- Vnitřní síly
 - $M_z = 24,39 \text{ kNm}$ ($M_y = 6,84 \text{ kNm}$, $N = 25,1 \text{ kN}$)
 - $V_{MAX} = 47,34 \text{ kN}$

- KOMBINACE TLAKU a OHYBU

- $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = 0,52 \text{ MPa}$

- $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = 13,78 \text{ MPa}$

- $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed}}{W_z} = 3,84 \text{ MPa}$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,88 < 1$$

VYHOVUJE

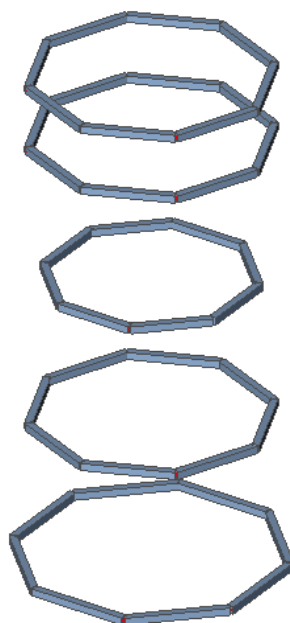
- SMYK

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 A} = 1,47 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,08 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

5.6 Obvodové nosníky (250x250, C30)

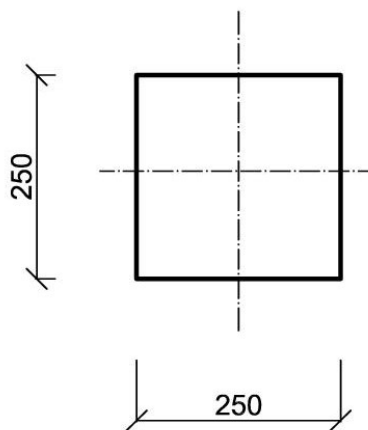
Obvodové nosníky jsou součástí vnější příhrady. Navíc na ně působí i příčnický podlaží. Příčnický obvodovým nosníkům zkracují kritickou délku. Posouzeny jsou na tlak, ohyb, jejich kombinaci a smyk.



Obr. 40: Obvodové nosníky - model



Obr. 41: Statické schéma obvodového nosníku



Obr. 42: Průřez obvodového nosníku

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 62\,500\text{ mm}^2$
 - $W_y = W_z = 2,6 \cdot 10^6\text{ mm}^3$

Posudek - MSÚ

- Vnitřní síly
 - $V_{\text{MAX}} = 30,76\text{ kN}$
 - $M_y = 19,57\text{ kNm}$ ($M_z = 3,43\text{ kNm}$, $N = 64,23\text{ kN}$)
 - $N_{\text{MAX}} = 153,52\text{ kN}$
- PROSTÝ TLAK

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{ED}}}{A_{\text{osl}}} = 2,46\text{ MPa} < f_{c,0,d} = 15,92\text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- OHYB

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = 7,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed}}{W_z} = 1,32 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,43 < 1$$

VYHOVUJE

- KOMBANACE TLAKU a OHYBU

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,58 < 1$$

VYHOVUJE

- SMYK

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 A} = 0,74 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,08 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Mezní stav použitelnosti

- $L = 3\,400 \text{ mm}$
- $w_{inst,G} = 0,1 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q1} = 4,1 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q2} = 0,0 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q3} = 0,0 \text{ mm}$
- Konečný průhyb (třída provozu 2 - $k_{def} = 0,8$):
 - $w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,3 \cdot (1 + 0,8) = 0,2 \text{ mm}$
 - $w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 6,7 \cdot (1 + 0,6 \cdot 0,8) = 6,1$
 - $w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} = 6,3 \text{ mm}$

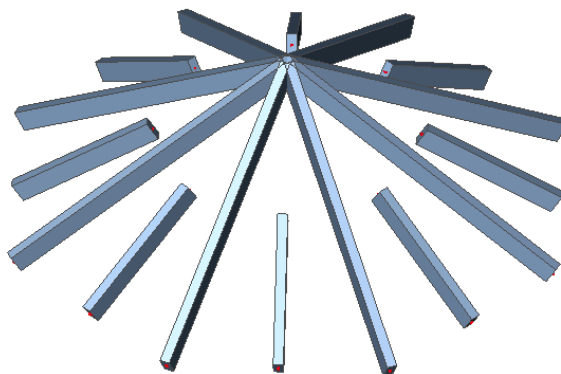
$$w_{fin} < \frac{L}{250}$$

$$6,3 \text{ mm} < 13,6 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

5.7 Krokve

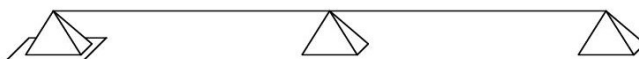
Návrh a posudek byl proveden na krokve nárožní i na krokve vedlejší. Nárožní krokve byly posouzeny ve více průřezech dle působení vnitřních sil. V místě největších ohybových momentů a v místě oslabeného průřezu. Nárožní a mezilehlé vedlejší krokve mají stejný průřez. Roznášecí šířka krokví je proměnná a tím i zatížení.



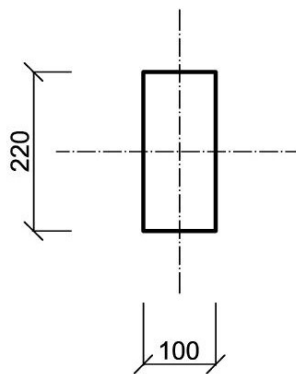
Obr. 42: Krokve - model

5.7.1 Nárožní krokve (100x220, GL24h)

V místě osedlání vaznice na vnitřní sloup je průřez oslaben. Zářez oslabí průřez o 40 mm. Excentricita normálové síly vzhledem k těžišti oslabeného průřezu je 20 mm. Krokve byla posouzena na prostý smyk, tlak, ohyb a kombinaci ohybu a vzpěrného tlaku.



Obr. 43: Statické schéma nárožní krokve



Obr. 44: Průřez nárožní krokve

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 22\,000\text{ mm}^2$
 - $W_y = 8,07 \cdot 10^5\text{ mm}^3$
 - $A_{osl} = 20\,000\text{ mm}^2$
 - $W_{y,osl} = 6,67 \cdot 10^5\text{ mm}^3$

Posouzení

Průřez 1 – maximální kladný moment

- Vnitřní síly
 - $M_y = 11,36\text{ kNm}$
 - $N = -69,70\text{ kN}$
- PROSTÝ TLAK

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ED}}{A} = 3,17\text{ MPa} < f_{c,0,d} = 20,88\text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- PROSTÝ OHYB

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ED}}{W_y} = 17,04\text{ MPa} < f_{m,d} = 23,04\text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- KOMBINACE TLAKU a OHYBU

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,89 < 1$$

VYHOVUJE

Průřez 2 – maximální záporný moment v místě osedlání na vaznici

- Vnitřní síly
 - $M_y = -9,70 \text{ kNm}$
 - $N = -12,55 \text{ kN}$
- PROSTÝ TLAK

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ED}}{A_{osl}} = 0,63 \text{ MPa} < f_{c,0,d} = 20,88 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- PROSTÝ OHYB

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e}{W_{y,}} = 14,93 \text{ MPa} < f_{m,d} = 23,04 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- KOMBINACE TLAKU a OHYBU

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,691 < 1$$

VYHOVUJE

Průřez 3 – maximální normálová síla v krokvi v oslabeném průřezu

- Vnitřní síly
 - $N = -69,70 \text{ kN}$
 - $M_y = 11,36 \text{ kNm}$
- PROSTÝ TLAK

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ED}}{A_{osl}} = 3,49 \text{ MPa} < f_{c,0,d} = 20,88 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- PROSTÝ OHYB

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e}{W_{y,}} = 19,13 \text{ MPa} < f_{m,d} = 23,04 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- KOMBANACE TLAKU a OHYBU

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,99 < 1$$

VYHOVUJE

Průřez 4 – maximální posouvající síla v krokvi v oslabeném průřezu

- Vnitřní síly
- $V_z = 29,01 \text{ kN}$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 A_{osl}} = 2,18 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,52 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Mezní stav použitelnosti

- $L = 2\,300 \text{ mm}$
- $w_{inst,G} = 0,3 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q1} = 1,1 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q2} = 1,0 \text{ mm}$
- $w_{inst,Q3} = 0,2 \text{ mm}$
- Konečný průhyb (třída provozu 2 - $k_{def} = 0,8$):
 - $w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,3 \cdot (1 + 0,8) = 0,5 \text{ mm}$
 - $w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 1,1 \cdot (1 + 0,0 \cdot 0,8) = 1,1$
 - $w_{fin,Q2} = w_{inst,Q2} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) = 1,0 \cdot (0,7 + 0,2 \cdot 0,8) = 0,8$
 - $w_{fin,Q3} = w_{inst,Q3} \cdot (\psi_{0,3} + \psi_{2,3} \cdot k_{def}) = 0,2 \cdot (0,0 + 0,0 \cdot 0,8) = 0,0$
 - $w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Q2} = 2,4 \text{ mm}$

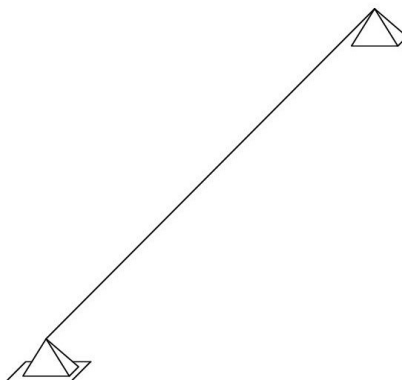
$$w_{fin} < \frac{L}{250}$$

$$2,4 \text{ mm} < 9,2 \text{ mm}$$

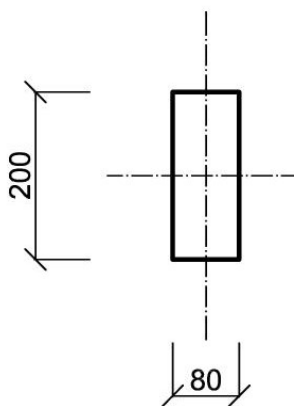
VYHOVUJE

5.7.2 Vedlejší krokve (80x200, GL 24h)

Vedlejší krokve působí jako šikmý prostě podepřený nosník. Posouzeny byly na kombinaci vzpěru a ohybu a na smyk.



Obr. 45: Statické schéma vedlejší krokve



Obr. 46: Průřez vedlejší krokve

- Průřezové charakteristiky
 - $A = 16\,000\text{ mm}^2$
 - $W_y = 5,33 \cdot 10^5\text{ mm}^3$
 - $I_y = 53,33 \cdot 10^6\text{ mm}^4$
 - $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 57,74\text{ mm}$

Posudek – MSÚ

- Vnitřní síly
 - $M_y = 9,67 \text{ kNm}$ ($N = -7,4 \text{ kN}$)
 - $V_{\text{MAX}} = 23,44 \text{ kN}$
- KOMBINACE VZPĚRU a OHYBU
 - $L_{\text{cr}} = 2\,200 \text{ mm}$
 - $\lambda = \frac{L_{\text{cr}}}{i_y} = 38,101$
 - $\sigma_{\text{cr},y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 73,43 \text{ MPa}$
 - $\lambda_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit}}}} = 0,63$
 - $\beta_c = 0,1$ (pro LLD)
 - $k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel}}^2] = 0,71$
 - $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = 0,95$
 - $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \mathbf{0,46 \text{ MPa}}$
 - $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed}}}{W_{y,}}$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,71 < 1$$

VYHOVUJE

- SMYK

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_{\text{Ed}}}{2 A} = 2,20 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,52 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

5.8 Maximální deformace stavby

Mezní stav použitelnosti

- $L = 24\,500\text{ mm}$
- $w_{\text{inst,G}} = 0,1\text{ mm}$
- $w_{\text{inst,Q1}} = 15,3\text{ mm}$
- $w_{\text{inst,Q2}} = 0,8\text{ mm}$
- $w_{\text{inst,Q3}} = 0,3\text{ mm}$
- Konečný průhyb (třída provozu 2 - $k_{\text{def}} = 0,8$):
 - $w_{\text{fin,G}} = w_{\text{inst,G}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) = 0,1 \cdot (1 + 0,8) = 0,2\text{mm}$
 - $w_{\text{fin,Q1}} = w_{\text{inst,Q1}} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{\text{def}}) = 15,3 \cdot (1 + 0,0 \cdot 0,8) = 15,3$
 - $w_{\text{fin,Q2}} = w_{\text{inst,Q2}} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{\text{def}}) = 0,8 \cdot (0,7 + 0,2 \cdot 0,8) = 0,7$
 - $w_{\text{fin,Q3}} = w_{\text{inst,Q3}} \cdot (\psi_{0,3} + \psi_{2,3} \cdot k_{\text{def}}) = 0,3 \cdot (0,7 + 0,6 \cdot 0,8) = 0,4$
 - $w_{\text{fin}} = w_{\text{fin,G}} + w_{\text{fin,Q1}} + w_{\text{fin,Q2}} + w_{\text{fin,Q3}} = 16,6\text{mm}$

$$w_{\text{fin}} < \frac{L}{1000}$$

$$16,6\text{ mm} < 24,5\text{ mm}$$

VYHOVUJE

6 Návrh a posudek spojů

Pro spoje rozhledny jsou použity svorníky M 3.6, které mají průměr 14mm a 18mm. Svorníky spojují dřevěné prvky a ocelovou desku tloušťky 8mm. Maximální síly působící na spoj jsou převzaty z vnitřních sil vypočtených v programu Scia Engineer 15.1.

Materiálové charakteristiky

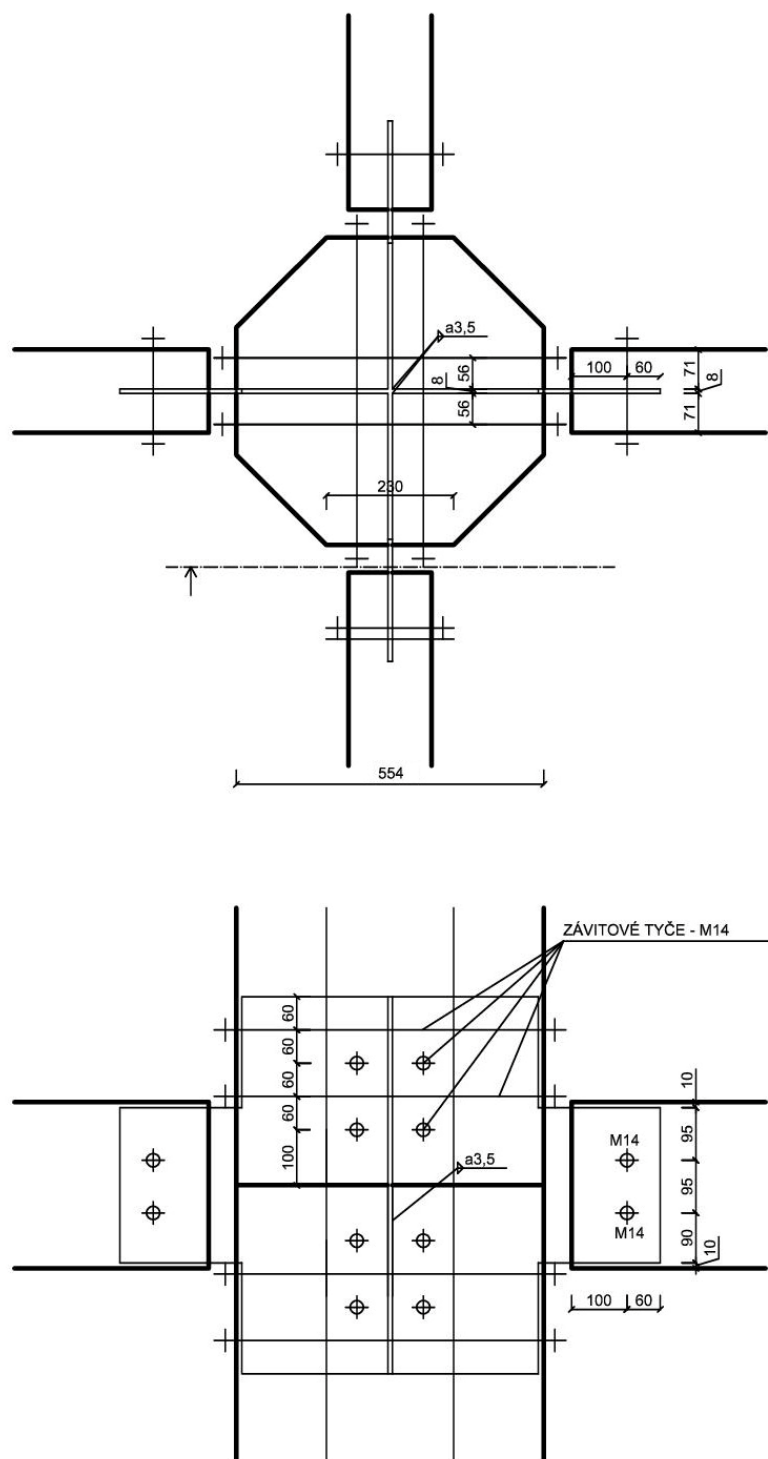
- pevnost v otlačení dřevěného prvku $d = 14\text{mm}$
 - $RD - \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$
 $f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot 0,86 \cdot 380 = 26,80 \text{ MPa}$
 - $LLD - \rho_k = 440 \text{ kg/m}^3$
 $f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot 0,86 \cdot 440 = 31,03 \text{ MPa}$
- plastický moment únosnosti spojovacího prvku

$$f_{u,k} = 300 \text{ Mpa (třída pevnosti 3.6)}$$

$$M_{y,Rk}(d = 14) = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 85,94 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rk}(d = 18) = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 165,18 \text{ kNm}$$

6.1 Spoj centrálního sloupu a hlavních nosníků v úrovni podlaží



Obr. 47: Spoj centrálního sloupu a hlavních nosníků (půdorys, řez)

Spoj je tvořeny dvěma tenkými ocelovými deskami (tloušťky 8 mm) přivařených k sobě a tvořící kříž. Desky jsou přivařeny koutovým svarem $a=3,5\text{mm}$. Desky jsou zapuštěny do centrálního sloupu a jsou spojeny vždy 8 závitovými tyčemi průměru 14mm. Desky mají za obvodem centrálního sloupu křídla, na kterých jsou připojeny hlavní nosníky podlaží pomocí dvou svorníků M14. Závitové tyče a svorníky působí dvojstřížně.

6.1.1 Centrální sloup

Rozměry prvků

- Svorníky typu M14 $\Rightarrow d = 14\text{mm}$
- Sloup osmiúhelník R300 $\Rightarrow t_1=270\text{mm}$
- Rozteče
 - $a_1 = 100\text{ mm}$
 - $a_2 = 60\text{mm}$

Návrh a posudek

- únosnost příčně namáhaného dvojstřížného spoje (dřevo-ocel-dřevo)

$$F_{v,Rk} \left\{ \begin{array}{l} f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 117,29 \\ 326,33 \\ 467,50 \end{array} \right\} = 117,29 \text{ kN}$$

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se bere nižší z hodnot únosnosti svorníku v tahu a únosnosti ocelové desky:

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 7^2 \cdot \pi = 92,36 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{ax,Rd} = \frac{F_{ax,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 66,50 \text{ kN} \Rightarrow \textit{dvojstřížný ve dvou směrech}$$

$$\Rightarrow F_{v,Rd} = 266,00 \text{ kN}$$

- Maximální síla působící na spoj

$$R_{MAX} = 478,58 \text{ kN}$$

Byly navrženy 4 svorníky ve dvou na sebe kolmých směrech – dohromady 8

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rk} = 532,01 \text{ kN} > R_{MAX} = 478,58 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.1.2 Hlavní nosníky podlaží

Rozměry prvků

- Svorníky typu M14 => d = 14mm
- Nosník 150x300 => t₁=70mm
- Rozteče
 - a₁ = 100 mm
 - a₂ = 60mm

Návrh a posudek

- únosnost příčně namáhaného dvojstřížného spoje (dřevo-ocel-dřevo)

$$F_{v,Rk} \left\{ \begin{array}{l} f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 30,04 \\ 381,15 \\ 467,50 \end{array} \right\} = 30,04 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 7^2 \cdot \pi = 92,36 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 21,89 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstřížný spoj} \Rightarrow F_{v,Rd} = 43,78 \text{ kN}$$

- Maximální síla působící na spoj

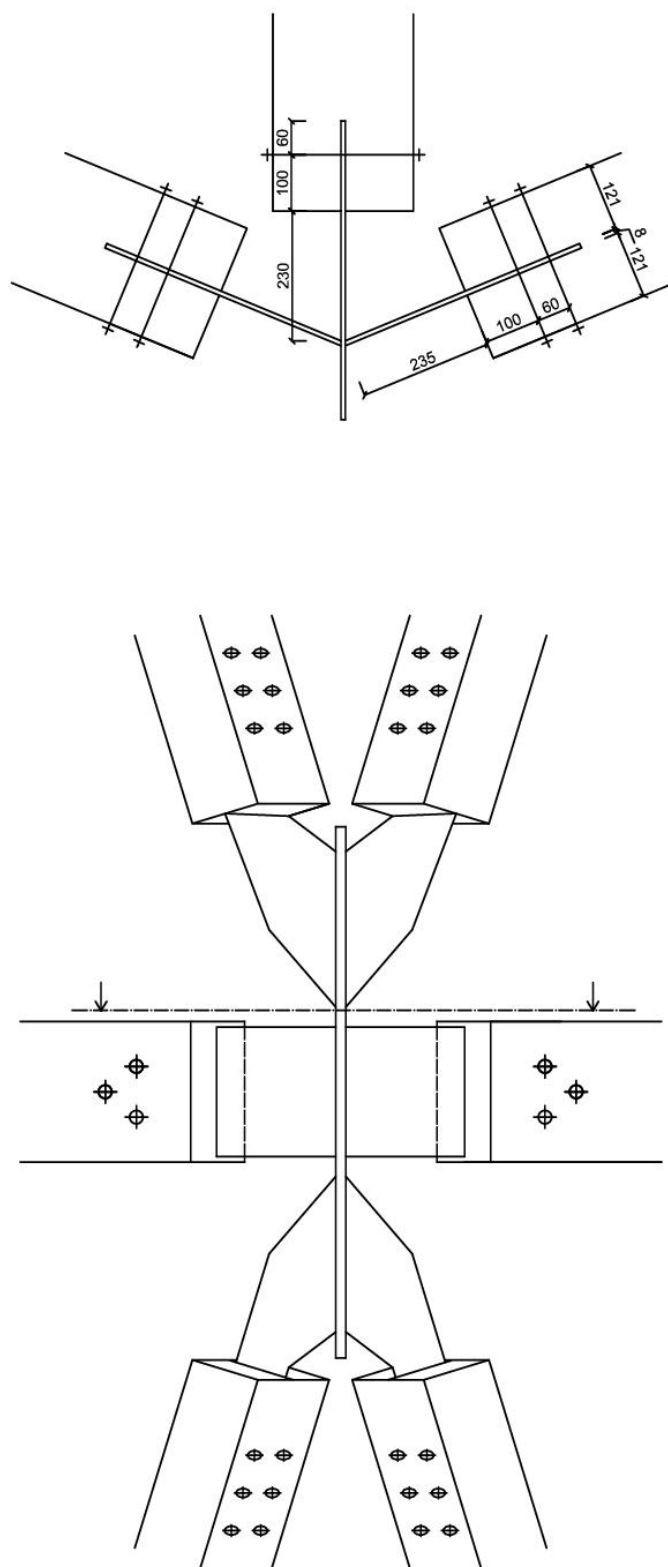
$$R_{MAX} = 57,2 \text{ kN}$$

Byly navrženy 2 svorníky.

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rk} = 87,56 \text{ kN} > R_{MAX} = 57,2 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.2 Spoje trámů vnějšího pláště



Obr. 48: Spoj trámů vnějšího pláště (půdorys nosníku v rovině podlaží, boční pohled)

Ve spoji se stykuje celkem 7 prvků – 2 obvodové nosníky, 4 trámy pláště a hlavní nosník podlaží. Spoje všech prvků jsou tvořeny tenkou ocelovou deskou (8mm), která je zapuštěna do prvků, a svorníky, které působí dvojstřížně. Jednotlivé desky jdoucí z prvků jsou přivařeny k hlavní ocelové desce. Desky jsou přivařeny koutovým svarem $a=3,5\text{mm}$. Z hlavní desky vychází křídlo do hlavního nosníku podlaží.

6.2.1 Vodorovné nosníky

Rozměry prvků

- Svorníky typu M14 $\Rightarrow d = 14\text{mm}$
- Nosník $250 \times 250 \Rightarrow t_1 = 120\text{mm}$
- Rozteče
 - $a_1 = 100\text{mm}$
 - $a_2 = 60\text{mm}$

Návrh a posudek

- únosnost příčně namáhaného dvojstřížného spoje (dřevo-ocel-dřevo)

$$F_{v,Rk} \left\{ \begin{array}{l} f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 52,13 \\ 364,37 \\ 467,50 \end{array} \right\} = 52,13 \text{ kN}$$

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se bere nižší z hodnot únosnosti svorníku v tahu a únosnosti ocelové desky:

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 7^2 \cdot \pi = 92,36 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 36,09 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstřížný spoj} \Rightarrow F_{v,Rd} = 72,18 \text{ kN}$$

- Maximální síla působící na spoj

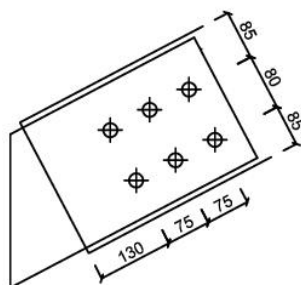
$$R_{MAX} = 153,52 \text{ kN}$$

Byly navrženy 3 svorníky.

$$F_{v,Rd} = 3 \cdot F_{v,Rd} = 1216,54 \text{ kN} > R_{MAX} = 153,52 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.2.2 Spoje trámů vnějšího pláště



Obr. 49: Pohled shora na spoj trámu vnějšího pláště a tenké ocelové desky

Rozměry prvků

- Svorníky typu M18 => d=18mm
- Nosník 250x250=> t₁=120mm
- Rozteče
 - a₁ = 130 mm
 - a₂ = 75mm

Návrh a posudek

- únosnost příčně namáhaného dvojstřížného spoje (dřevo-ocel-dřevo)

$$F_{v,Rk} \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 57,89 \\ 550,75 \\ 687,42 \end{array} \right\} = 57,89 \text{ kN}$$

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se bere nižší z hodnot únosnosti svorníku v tahu a únosnosti ocelové desky:

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 9^2 \cdot \pi = 152,68 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 40,08 \text{ kN} \Rightarrow \textit{dvojstřížný spoj} \Rightarrow F_{V,Rd} = 80,16 \text{ kN}$$

- Maximální síla působící na spoj

$$R_{MAX} = 463,8 \text{ kN}$$

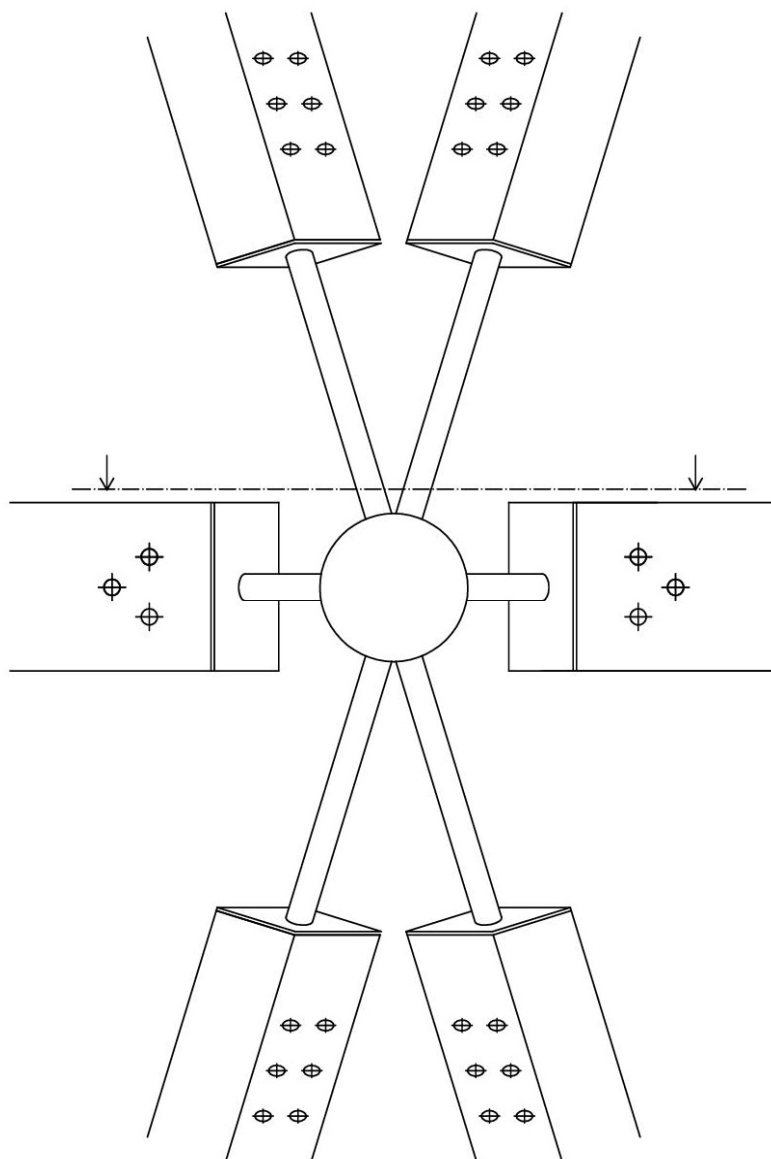
Bylo navrženo 6 svorníků a to ve třech řadách po dvou

$$F_{V,Rd} = 6 \cdot F_{V,Rd} = 480,96 \text{ kN} > R_{MAX} = 463,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.2.3 Alternativa spoje

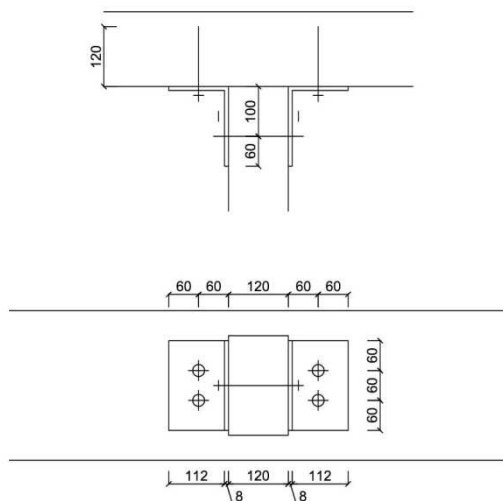
Spoj lze řešit i jiným způsobem než přivařením na ocelovou desku. Kloubový spoj se může skládat z ocelové koule, na kterou jsou navařeny ocelové tyče, které jsou přivařeny na desku, jež ukončuje jednotlivé prvky. Na desku, která ukončuje prvky, je vždy kolmo přivařena deska, která zajišťuje dvojstřížný spoj pomocí svorníků.



Obr. 50: Alternativa spoje obvodových nosníků s dutými trubkami a dutou centrální koulí

6.3 Spoj příčníků na hlavní a obvodové nosníky

Spoj je tvořen dvěma ocelovými úhelníky spojenými k hlavnímu trámu svorníkem jednotřížně do hloubky 120mm a k příčníkům svorníkem dvojstřížně.



Obr. 51: Spoj příčnicku na hlavní nosníky podlaží (půdorys, pohled)

6.3.1 Příčník

Rozměry prvků

- Svorníky typu M14 $\Rightarrow d = 14\text{mm}$
- Nosník 120x200 $\Rightarrow t_1 = 120\text{mm}$
- Rozteče
 - $a_1 = 100\text{ mm}$
 - $a_2 = 60\text{mm}$

Návrh a posudek

- únosnost příčně a osově namáhaného jednotřížného spoje (ocel-dřevo-ocel)

$$F_{V,Rk} = \min \left\{ \frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} \right\} = \left\{ \frac{26,07}{238,10} \right\} = 26,07 \text{ kN}$$

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se bere nižší z hodnot únosnosti svorníku v tahu a únosnosti ocelové desky:

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 7^2 \cdot \pi = 92,36 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 18,77 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstřížný spoj} \Rightarrow F_{V,Rd} = 37,54 \text{ kN}$$

- Výslednice sil ve spoji

$$R_{MAX} = 26,98 \text{ kN}$$

Byl navržen 1 svorník.

$$F_{V,Rd} = 37,54 \text{ kN} > R_{MAX} = 26,98 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.3.2 Hlavní nosník podlaží

Rozměry prvků

- Svorníky typu M12 $\Rightarrow d=12\text{mm}$
- Nosník 120x200 $\Rightarrow t_1=120\text{mm}$
- Minimální rozteče - $a_1 = a_2 = 48\text{mm}$

Návrh a posudek

- únosnost příčně a osově namáhaného jednostřížného spoje (ocel-dřevo-ocel)

$$F_{V,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} \right\} = \left\{ \frac{17,87}{238,10} \right\} = 17,87 \text{ kN}$$

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se bere nižší z hodnot únosnosti svorníku v tahu a únosnosti ocelové desky:

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 6^2 \cdot \pi = 67,86 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 12,87 \text{ kN} \Rightarrow \textit{dvojstřížný spoj} \Rightarrow F_{V,Rd} = 25,74 \text{ kN}$$

- Výslednice sil ve spoji

$$R_{MAX} = 26,98 \text{ kN}$$

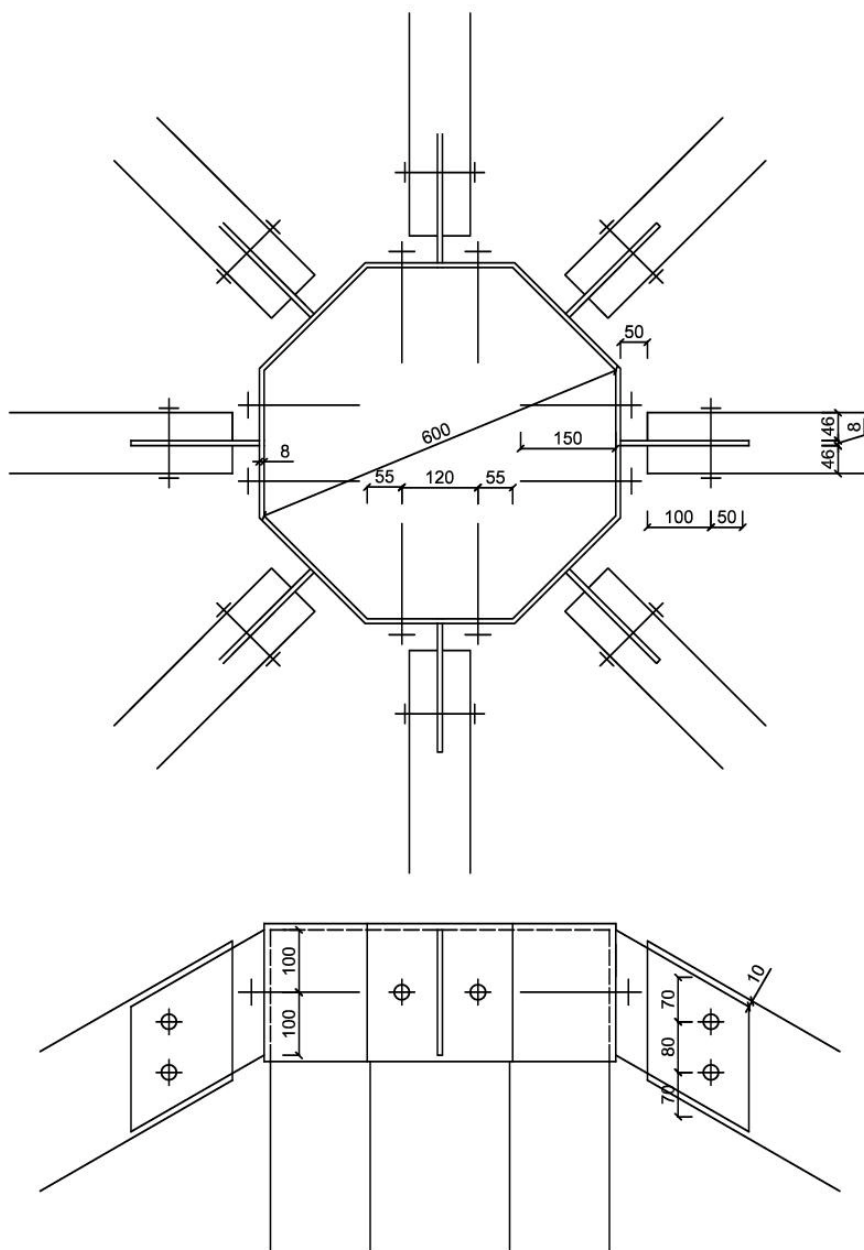
Byly navrženy 2 svorníky.

$$F_{V,Rd} = 2 \cdot F_{V,Rd} = 51,47 \text{ kN} > R_{MAX} = 26,98 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.4 Vrcholový spoj střechy

Ve vrcholu centrálního sloupu je ocelová objímka sloupu (tloušťka 8mm). Objímka je spojena dvěma svorníky jednotřížně do hloubky 150 mm ve dvou na sebe kolmých směrech. Na objímku jsou přivařeny ocelové desky zapuštěné do jednotlivých krokví a spojené svorníky dvojstřížně. Desky jsou přivařeny koutovým svarem $a=3,5\text{mm}$.



Obr. 52: Vrcholový spoj střechy (půdorys, pohled se dvěma krokvemi)

6.4.1 Objímka centrálního sloupu

Rozměry prvků

- Svorníky typu M14 => $d=14\text{mm}$
- Zapuštění svorníku – 150mm => $t_1=150\text{mm}$
- Rozteče
 - $a_1 = 100\text{ mm}$
 - $a_2 = 60\text{mm}$

Návrh a posudek

- únosnost příčně a osově namáhaného jednostřížného spoje (ocel-dřevo)

$$F_{V,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} \right\} = \left\{ \frac{26,07}{238,10} \right\} = 26,07 \text{ kN}$$

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se bere nižší z hodnot únosnosti svorníku v tahu a únosnosti ocelové desky:

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 7^2 \cdot \pi = 92,36 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 18,77 \text{ kN}$$

- Výslednice sil ve spoji

$$R_{MAX} = 114,85 \text{ kN}$$

Bylo navrženo 8 svorníků – 2 svorníky na čtyřech stranách

$$F_{V,Rd} = 8 \cdot F_{V,Rd} = 150,14 \text{ kN} > R_{MAX} = 114,85 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.4.2 Nárožní krokve

Rozměry prvků

- Svorníky typu M14 $\Rightarrow d=14\text{mm}$
- Nosník 100x220 $\Rightarrow t_1 = 46\text{mm}$
- Rozteče
 - $a_1 = 100\text{ mm}$
 - $a_2 = 60\text{mm}$

Návrh a posudek

- únosnost příčně namáhaného dvojstřížného spoje (dřevo-ocel-dřevo)

$$F_{v,Rk} \left\{ \begin{array}{l} f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 19,98 \\ 390,58 \\ 467,50 \end{array} \right\} = 19,98 \text{ kN}$$

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se bere nižší z hodnot únosnosti svorníku v tahu a únosnosti ocelové desky:

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 7^2 \cdot \pi = 92,36 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 14,39 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstřížný spoj} \Rightarrow F_{v,Rd} = 28,77 \text{ kN}$$

- Maximální síla působící na spoj

$$R_{MAX} = 54,37 \text{ kN}$$

Byly navrženy 2 svorníky.

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 57,54 \text{ kN} > R_{MAX} = 54,37 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.5 Obvodová patka

Výpočet patky je rozdělen do tří částí. První část posuzuje spoj dřevěného trámu na desku čepu, druhá část posuzuje únosnost čepu [5] a třetí část efektivní plochu desky, přenos vodorovných sil, základovou půdu a počet chemických kotev. Byla použita vysokožátěžová kotva FHB II od firmy fisher [8]. Kotvení zajišťují svorníky třídy 8.8 (M24x210) a chemická injektážní malta. Ocelová deska je uložena na podliti, které je pomocí výztuže spojeno s betonovou patkou. Ocelová deska má tloušťku 50mm. Základová patka je z betonu C20/25. Základová půda je typu ML – hlína s nízkou plasticitou a konzistence půdy je tvrdá. Její únosnost je 400 kPa [9].

6.5.1 Spoj trámu a ocelové desky

Rozměry prvků

- Svorníky typu M18 => $d=18\text{mm}$
- Nosník 250x250 => $t_1 = 112\text{mm}$
- Rozteče
 - $a_1 = 130\text{ mm}$
 - $a_2 = 75\text{mm}$

Návrh a posudek

- únosnost příčně a osově namáhaného dvojstřížného spoje (dřevo – ocel - dřevo)

$$F_{V,Rk} \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d + \frac{F_{ax,Rk}^2}{4}} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 62,56 \\ 553,85 \\ 687,42 \end{array} \right\} = 62,56 \text{ kN}$$

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se bere nižší z hodnot únosnosti svorníku v tahu a únosnosti ocelové desky:

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 9^2 \cdot \pi = 152,68 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 43,31 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstřížný spoj} \Rightarrow F_{V,Rd} = 86,62 \text{ kN}$$

- Maximální síla působící na spoj

$$R_{MAX} = 463,8 \text{ kN}$$

Bylo navrženo 6 svorníků a to ve třech řadách po dvou

$$F_{v,Rd} = 6 \cdot F_{v,Rd} = 519,70 \text{ kN} > R_{MAX} = 463,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.5.2 Únosnost čepu

- $f_{u,b} = 800 \text{ MPa}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$
- $f_u = 510 \text{ MPa}$
- $t = 25 \text{ mm}$
- $\alpha_v = 0,6$ (pro třídu 8.8)
- $d = 44 \text{ mm}$
- $d_0 = 48 \text{ mm}$
- $A = 1521 \text{ mm}^2$
- $F_{MAX} = 463,8 \text{ kN}$

Únosnost čepu ve střihu

$$- F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{u,b}}{\gamma_{M2}} = 584,06 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 584,06 \text{ kN} > R_{MAX} = 463,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$- F_0 = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 468,6 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 468,6 \text{ kN} > R_{MAX} = 463,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.5.3 Posouzení patky

Materiál a rozměry

- Beton C20/25
- Ocel
 - $f_{y,d} = 355 \text{ MPa}$
 - $f_u = 510 \text{ MPa}$
- Kotevní svorníky M24x210
 - $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 90 \text{ mm}$
 - $h = 210 \text{ mm}$
 - $N_{Rd} = 52,2 \text{ kN}$
- Ocelová deska
 - $t = 30 \text{ mm}$
 - $a = 1000 \text{ mm}$
 - $b = 420 \text{ mm}$
- Betonová patka
 - $a = 1500 \text{ mm}$
 - $b = 820 \text{ mm}$
 - $h = 600 \text{ mm}$
 - $h_{\text{kotevní podklad}} = 280 \text{ mm}$

Vnitřní síly

- $N_{MAX} = -463,89 \text{ kN}$
- $N_{MIN} = 408,49 \text{ kN}$
- $V_{MAX} = 17,37 \text{ kN}$

Efektivní plocha

$$f_{j,d} = 7,11 \text{ MPa}$$

$$c = 100 \text{ mm}$$

$$A_{ef,s} = (450 + 2 \cdot 100) \cdot (2 \cdot 15 + 25 + 2 \cdot 100) = 165\,750 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,s} = 165\,750 \text{ mm}^2 > \frac{N_{ED}}{f_{j,d}} = 64\,120 \text{ mm}^2$$

VYHOVUJE

Přenos vodorovné síly

$$N_{MAX} \cdot \mu = 92,76 \text{ kN} > V_{MAX} = 17,37 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Kotevní svorníky

$$- N_{t,Rd} = 52,2 \text{ kN}$$

Bylo navrženo celkem 10 svorníků.

$$F_{t,Rd} = N_{t,Rd} \cdot 10 = 522 \text{ kN} > N_{MIN} = 408,49 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Únosnost půdy

$$A_{ef,c} = 1,50 \cdot 0,82 = 1,23 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{ds} = \frac{N_{MAX}}{A_{ef,c}} = 377,15 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{ds} = 377,15 \text{ kPa} > R_{dt} = 400 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE

Tloušťka ocelové desky

$$r = 285 \text{ mm}$$

$$N_{ed} = \frac{N_{min}}{2} = 204,25 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = N_{ed} \cdot r = 58,21 \text{ kNm}$$

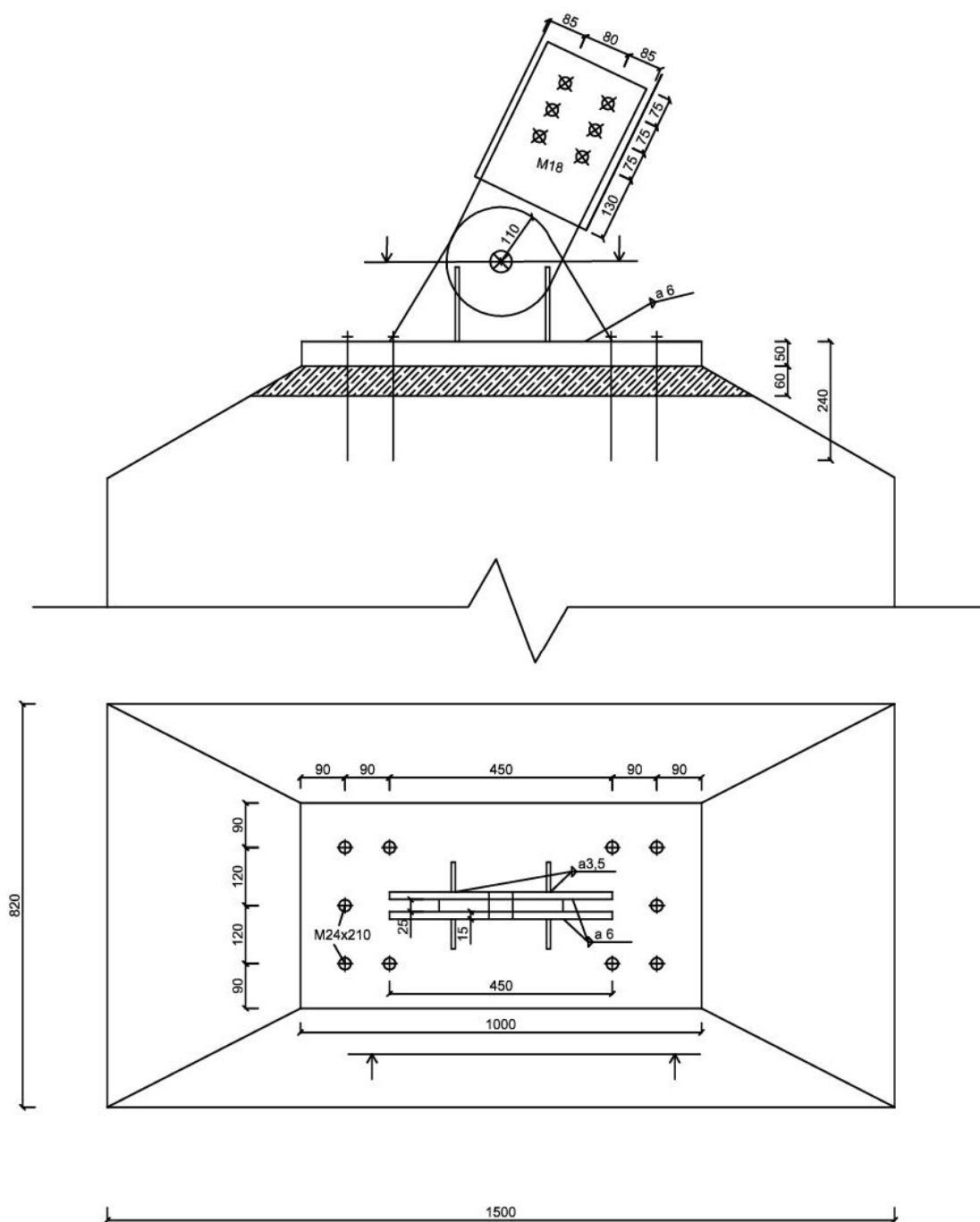
$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_y} = 1,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$b = 420 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{min}}{b}} = 48 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 48 \text{ mm} < t_{skut} = 50 \text{ mm}$$

VYHOVUJE



Obr. 53: Obvodová patka

6.6 Centrální patka

Sloup je namáhán a přenáší pouze tlakové osově síly. Pro zakotvení patky stačí použít šrouby do závlače. Patka je posouzena na přenos sil spojem ze sloupu na čtyři obvodové ocelové desky a přenesení z těchto desek do desky základové, která přenáší zatížení do betonového základu. Posouzení bylo provedeno i na základovou půdu.

6.6.1 Spoj sloupu a ocelových desek

Rozměry prvků

- Svorníky typu M14 => $d=14\text{mm}$
- Zapuštění svorníku – 150mm => $t_1=150\text{mm}$
- Rozteče
 - $a_1 = 100\text{ mm}$
 - $a_2 = 60\text{mm}$

Návrh a posudek

- únosnost příčně a osově namáhaného jednostřížného spoje (ocel-dřevo)

$$F_{V,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 31,28 \\ 238,10 \end{matrix} \right\} = 31,28 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rk} = f_{ub} \cdot A_b = 600 \cdot 7^2 \cdot \pi = 92,36 \text{ kN}$$

Rozhodující hodnotou mezi osovým a příčným namáháním je menší z těchto hodnot.

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 22,52 \text{ kN}$$

- Výslednice sil ve spoji

$$R_{MAX} = 478,58 \text{ kN}$$

Bylo navrženo 24 svorníků – 6 svorníků (2 ve třech řadách) na čtyřech stranách

$$F_{V,Rd} = 24 \cdot F_{V,Rd} = 540,48\text{kN} > R_{MAX} = 478,58 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

6.6.2 Posouzení patky

- Ocelová deska
 - $t_p = 25 \text{ mm}$
 - $a = 700 \text{ mm}$
 - $b = 700 \text{ mm}$
- Betonová patka
 - $a = 1600 \text{ mm}$
 - $b = 1600 \text{ mm}$
 - $h = 500 \text{ mm}$
 - $h_{\text{podlití}} = 70 \text{ mm}$

Vnitřní síly

- $N_{\text{MAX}} = -478,58 \text{ kN}$

Návrh a posudek

- Efektivní plocha

$$c = 80 \text{ mm}$$

$$A_{\text{ef}} = 4 \cdot (10 + 2 \cdot 80) \cdot (200 + 2 \cdot 80) = 244\,800 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{eff}} = 244\,800 \text{ mm}^2 > \frac{N_{\text{ED}}}{f_{j,d}} = 67310 \text{ mm}^2$$

VYHOVUJE

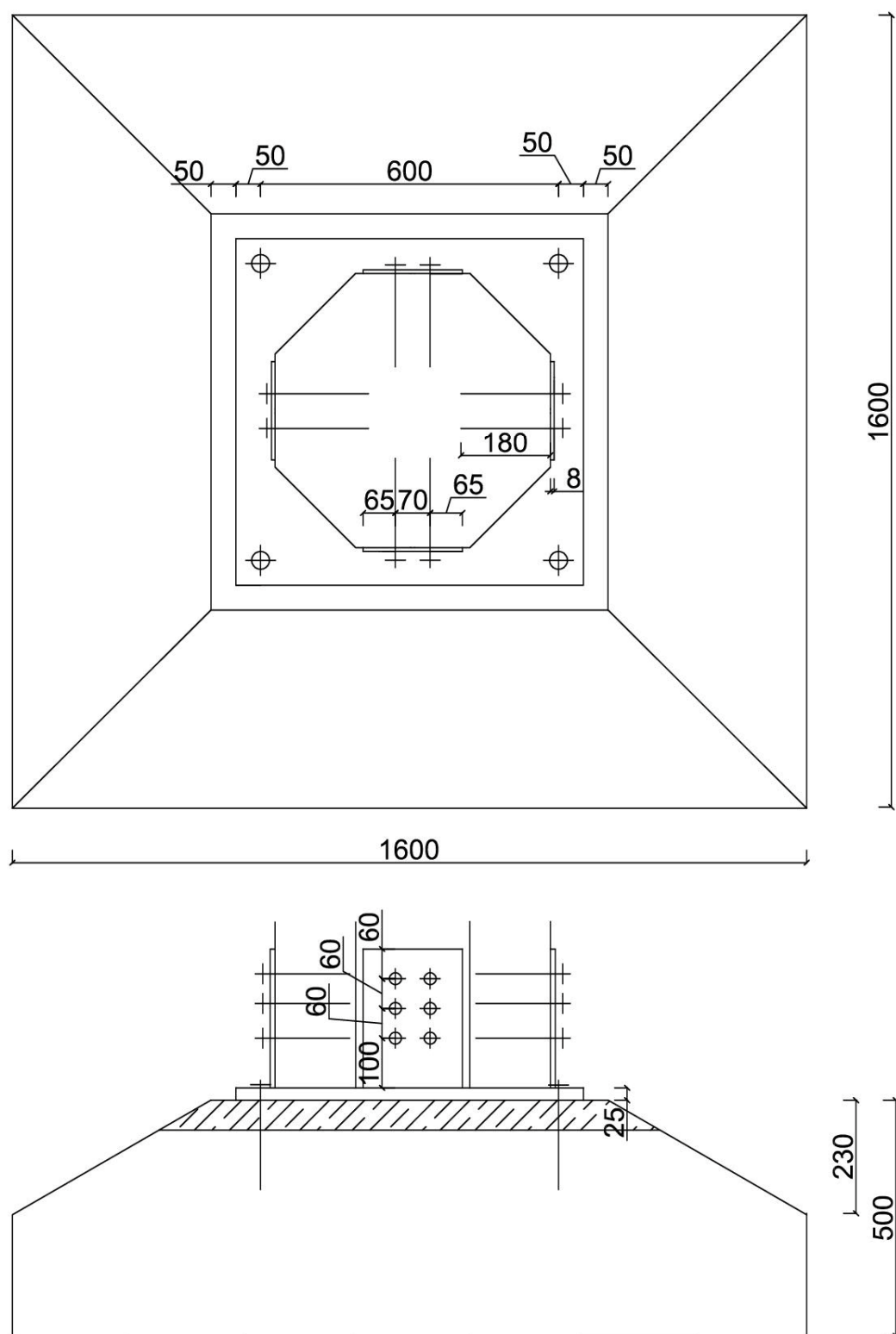
Únosnost půdy

$$A_{\text{ef},c} = 1,60 \cdot 1,60 = 2,56 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{ds} = \frac{N_{\text{MAX}}}{A_{\text{ef},c}} = 186,95 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{ds} = 186,95 \text{ kPa} > R_{\text{dt}} = 400 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE



Obr. 54: Centrální patka

7 Konstrukční a chemická ochrana dřeva

Turistická rozhledna spadá do třídy ohrožení 3. Dřevo je vystaveno vlivu povětrnosti ale bez přímého styku se zemí. Vlhkost dřeva je často vyšší než 20 % a proto je riziko napadení i biotickými škůdci. Expozice je nechráněná proti přímému působení vlhkosti a stavba spadá do třídy vlhkosti 2 [7].

7.1 Povětrnostní vlivy a Biotičtí škůdci

Stavba je vystavena povětrnostním vlivům, které mohou ovlivnit její únosnost a vzhled. Působením UV záření mění dřevo svou barvu. Žloutne či hnědne. Působením deště se vyluhují produkty štěpení ligninu a dřevo šedne. Voda může také zatékat do spojů a způsobovat korozi spojovacích prostředků či zvýšení vlhkosti dřeva. Vysoké teploty mohou zapříčinit popraskání a vznik trhlin. Působením větru dochází k obrušování povrchu.

Rozhledna splňuje podmínky pro možnost napadení biotickými škůdci – dostatečná vlhkost, teplo a přístup vzduchu. Pro danou třídu ohrožení může být stavba napadena dřevokazným hmyzem, houbami způsobující bílou a hnědou hnilobu, plísněmi a dřevo zbarvujícími houbami.

7.2 Ochrana dřeva

Základem je konstrukční ochrana jednotlivých prvků a spojů:

1. Základové patky mají výšku 500 mm
 - Minimální hodnota umístění stavby nad terénem, aby nebyla ovlivněna vlhkostí jdoucího od povrchu je 300mm.
2. Spoje jsou navrženy tak, aby se jednotlivé prvky nestykovaly
 - Mezi jednotlivými prvky musí být zajištěno odsazení, aby mohla srážková voda volně odtékat a nemohla se usadit mezi prvky.
3. Zajištění odtoku vody z prvků a spojovacích prostředků
 - Pro spoje dřevo-ocel-dřevo je zajištěno opracování dřeva pod svorníky pro plynulé odtékání srážkové vody (obr. 54)
 - Spoje jsou vyplněny silikonem proti zatékání
 - Prkna podlahy nejsou kladena vedle sebe a mají mezi sebou mezery.

- Horní rohy prken jsou zaobleny



Obr. 55: Konstrukční ochrana pro odtékání vody

4. Izolace střešní krytiny a přesah krokví zajistí odtok vody mimo nosnou konstrukci pod krytinou
5. Stavba neobsahuje konstrukci, která by byla přímo zakryta působení větru – tím je zajištěno odvětrávání.
6. Použití suchého dřeva vyšší kvality – C30

Prvky rozhledny musí být chráněny i chemickou ochranou, kvůli přirozené vlhkosti a napadení biotickými škůdci. Pro danou třídu ohrožení je potřeba zajistit ochranu:

- I_P – proti dřevokaznému hmyzu
- F_P – proti bílé a hnědé hnilobě (Basidiomycetes)
- D – povětrnostní vlivy
- B – dřevozbarvující houby
- P – plísně

Aplikace ochranného prostředku proběhne vakuovanou impregnací. Oblasti prvků, které budou opracovány na stavbě, se poté natřou ochranným nátěrem Belinka.

Svorníky a ocelové desky spojů budou pro ochranu oceli pozinkovány v množství Fe/Zn 12c.

8 Požární odolnost

Nosné prvky turistické rozhledny byly posouzeny na únosnost při požáru trvající 15 minut [6]. Požadavek je R15. 15 minut je doba, kdy všechny osoby mohou bez úhony opustit stavby i z nejvyššího patra. Všechny spoje vyhovují dle tabulek pro R15. Byly posouzeny prvky, které mají nejmenší rozdíl v únosnosti a výsledného zatížení. Byly posouzeny vnější nosníky a hlavní nosníky podlaží. Požární odolnost prvků byla posouzena metodou redukovaného průřezu.

8.1 Metoda redukovaného průřezu

- $d_0 = 7mm$
- $k_0 = \frac{t}{20} = 0,75$
- $\beta_n = 0,7$ (pro LLD)
- $\beta_n = 0,8$ (pro RD)
- $d_{char} = \beta_n \cdot t = 10,5$ (pro LLD)
- $d_{char} = \beta_n \cdot t = 12$ (pro RD)
- $d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0 \cdot t = 15,75$ (pro LLD)
- $d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0 \cdot t = 17,25$ (pro RD)
- $k_{fi} = 1,25$ (pro RD)
- $k_{fi} = 1,15$ (pro LLD)
- $\gamma_{M,fi} = 1,0$

8.1.1 Obvodový trám – 250x250

- $p = 4 \cdot (250 - 17,25) = 931mm$
- $A_r = (250 - 17,25) \cdot (250 - 17,25) = 54\,173\,mm^2$
- $k_{mod,fi} = 1 - \frac{p}{330 \cdot A_r} = 0,95$ (tah, modul pružnosti)
- $k_{mod,fi} = 1 - \frac{p}{200 \cdot A_r} = 0,91$ (ohyb)
- $k_{mod,fi} = 1 - \frac{p}{125 \cdot A_r} = 0,86$ (tlak)
- $E_{d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot E_k}{\gamma_{M,fi}} = 12\,800\,MPa$
- $f_{m,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot f_k}{\gamma_{M,fi}} = 34,28MPa$ (ohyb)
- $f_{c,0,d,fi} = 24,81\,MPa$ (tlak)

- Průřezové charakteristiky
 - $W_y = W_z = 2,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
 - $I_y = 246 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
 - $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 67,2 \text{ mm}$

Posudek – MSÚ

- Vnitřní síly
 - $M_z = 18,26 \text{ kNm}$ ($M_y = 10,01 \text{ kNm}$, $N = -324,50 \text{ kN}$)
 - $N_{\text{MAX}} = -463,80 \text{ kN}$
 - $V_{\text{MAX}} = 17,37 \text{ kN}$

- VZPĚRNÝ TLAK

- $L_{\text{cr}} = 5\,350 \text{ mm}$
- $\lambda = \frac{L_{\text{cr}}}{i_y} = 79,61$
- $\sigma_{\text{cr},y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 19,93 \text{ MPa}$
- $\lambda_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{f_{\text{c},0,\text{k}}}{\sigma_{\text{c},\text{crit}}}} = 1,07$
- $\beta_c = 0,2$ (pro RD)
- $k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{\text{rel}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel}}^2] = 1,15$
- $k_{\text{c},z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = 0,63$

$$\sigma_{\text{c},0,\text{d}} = \frac{0,6 \cdot N_{\text{ED}}}{A} = 5,136 \text{ MPa} < k_{\text{c},z} \cdot f_{\text{c},0,\text{d},\text{fi}} = 15,73 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- KOMBINACE VZPĚRU a OHYBU

- $\sigma_{\text{c},0,\text{d}} = \frac{0,6 \cdot N_{\text{ED}}}{A} = 5,99 \text{ MPa}$
 - $\sigma_{\text{m},y,\text{d}} = \frac{0,6 \cdot M_{\text{Ed}}}{W_y} = 4,77 \text{ MPa}$
 - $\sigma_{\text{m},z,\text{d}} = \frac{0,6 \cdot M_{\text{Ed}}}{W_z} = 8,70 \text{ MPa}$
 - $k_{\text{c},z} = 0,718$
- $$\frac{\sigma_{\text{c},0,\text{d}}}{k_{\text{c},y} \cdot f_{\text{c},0,\text{d},\text{fi}}} + \frac{\sigma_{\text{m},y,\text{d}}}{f_{\text{m},y,\text{d},\text{fi}}} + \frac{\sigma_{\text{m},z,\text{d}}}{f_{\text{m},z,\text{d},\text{fi}}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,46 < 1$$

VYHOVUJE

8.1.2 Hlavní nosník podlaží – 150x300

- $p = 2 \cdot 150 + 2 \cdot 300 - 4 \cdot 15,25 = 839 \text{ mm}$
- $A_r = (150 - 15,25) \cdot (300 - 15,25) = 38\,370 \text{ mm}^2$
- $k_{mod,fi} = 1 - \frac{p}{330 \cdot A_r} = 1,00$ (tah, modul pružnosti)
- $k_{mod,fi} = 1 - \frac{p}{200 \cdot A_r} = 1,00$ (ohyb)
- $k_{mod,fi} = 1 - \frac{p}{125 \cdot A_r} = 1,00$ (tlak)
- $E_{d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot E_k}{\gamma_{M,fi}} = 12420 \text{ MPa}$
- $f_{m,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot f_k}{\gamma_{M,fi}} = 36,8 \text{ MPa}$ (ohyb)
- $f_{c,0,d,fi} = 33,35 \text{ MPa}$ (tlak)
- Průřezové charakteristiky
 - $W_y = W_z = 1,82 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
- Vnitřní síly
 - $M_{MAX} = 50,39 \text{ kNm}$
 - $N_{MAX} = -57,21 \text{ kN}$
- PROSTÝ TLAK
$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{0,6 \cdot N_{ED}}{A} = 0,894 \text{ MPa} < f_{c,0,d,fi} = 33,35 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- OHYB

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{0,6 \cdot M_{Ed}}{W_y} = 16,61 \text{ MPa} < f_{m,d,fi} = 36,8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Závěr

Cílem diplomové práce bylo návrh dispozičního, stavebního a konstrukčního řešení turistické rozhledny z materiálů na bázi dřeva.

V první části diplomové práce byla zpracována historie a rozdělení rozhleden, ze kterých bylo čerpáno při návrhu dispozičního řešení třech rozhleden.

Ve druhé části byla navržena tři dispoziční řešení turistických rozhleden. Dispoziční řešení bylo navrženo tak, aby byly podobné ve velikosti a rozdílné tvarem a aby každá rozhledna měla rozdílné konstrukční řešení.

Poslední část práce je věnována návrhům a posudkům jednotlivých nosných prvků, spojů, základů a kotvení zvolené varianty rozhledny. Pro posouzení byly použity normy ČSN EN. Výpočet vnitřních sil byl proveden ve studentské verzi programu Scia Engineer 15.1. Navržený materiál byl vybrán s ohledem na odolnost proti povětrnostním vlivům a biotickým škůdcům.

Rozhledna byla navržena jako prostorová příhradová konstrukce, kde hlavními nosnými prvky jsou trámy tvořící vnější opláštění a centrální sloup. Pro viditelné prvky mimo centrálního sloupu bylo použito rostlé dřevo C30 a pro skryté prvky lepené lamelové dřevo GL24h. Při montáži by byly prvně postaveny vnější trámy a centrální sloup a poté nosníky podlaží. Nejtěžším prvkem pro montáž je centrální sloup, který váží 560 kg. Posudky byly provedeny pro jednotlivé prvky, spoje, kotvení a základy. Na základě výpočtů bylo dokázáno, že jednotlivé materiály a celá konstrukce odpovídá jak meznímu stavu únosnosti, tak meznímu stavu použitelnosti. Stavba dále vyhovuje požadavkům na ochranu proti povětrnostním vlivům, biotickým škůdcům a požáru.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [5] ČSN EN 1996-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Český normalizační institut, 2007.
- [6] ČSN EN 1996-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Český normalizační institut, 2007.
- [7] <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz>
- [8] <http://www.peddy.cz/files/Fischer-chemicke-kotvy-katalog-2013.pdf>
- [9] <http://fast10.vsb.cz/lahuta/ZS/6.pdf>
- [10] <http://rozhledny.yc.cz/boom.htm>

Seznam příloh

Příloha 1 – Boční pohled, řezy

Příloha 2 – Detaily